

Treball de Fi de Grau

Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials

Anàlisi de la viabilitat de les instal·lacions solars voltaiques en funció de la tarifa elèctrica

MEMÒRIA

Autor: Daniel Martínez Lozano

Director: Lázaro V. Cremades Oliver

Convocatòria: Juliol 2020



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquest projecte està basat en l'estudi de la viabilitat que s'obtindria d'una determinada instal·lació de plaques fotovoltaïques a un habitatge unifamiliar en relació a la tarifa elèctrica. En altres paraules, consisteix en trobar quina és la viabilitat que tindria aquesta instal·lació depenent de com afecten aspectes com el preu de l'electricitat de la tarifa contractada, el seu creixement al llarg dels anys i els períodes de discriminació horària dels que disposi.

Un dels principal avantatges del canvi a l'autoconsum connectat a la xarxa és l'estalvi econòmic que suposa. Tot i haver de seguir pagant unes despeses fixes a la companyia elèctrica, el consum d'electricitat proporcionat per la xarxa elèctrica es veu reduït gràcies a l'aprofitament de l'energia solar que capten les plaques (ja sigui per consum propi o per la remuneració dels excedents). Això hauria de fer que el projecte de muntatge del sistema d'autoconsum fos rendible al cap d'un determinat temps, però això podria no ser així en funció del consum de l'habitatge i el preu que ofereix la companyia elèctrica per l'energia subministrada.

L'objectiu del treball és determinar de quina manera, triant una tarifa o una altra, varia la viabilitat del projecte d'instal·lació de les plaques estudiant cinc consums domèstics diferents i fent l'anàlisi de rendibilitat sobre ells variant les possibles taxes d'increment de la factura elèctrica. Tots cinc són consums d'habitatges reals (per així tenir resultats més veritables) i la metodologia que es fa servir és una simulació de la producció que, aproximadament, tindrien les plaques a una ubicació determinada.

Prèviament a l'anàlisi, s'ha estudiat la normativa vigent sobre l'autoconsum, les diferents tarifes i companyies elèctriques que existeixen actualment i els preus de tots els materials que comporten el muntatge del circuit general, entre d'altres.

Sumari

SUMARI	4
1. GLOSSARI	6
2. PREFACI	7
2.1. Motivació	7
2.2. Objectius del projecte	8
2.3. Abast del projecte	9
3. INTRODUCCIÓ	10
3.1. Situació de les energies renovables a Espanya	10
3.2. Normativa	12
3.2.1. Subvencions	13
3.3. Factura Elèctrica	14
3.3.1. Tipus de tarifes segons el mercat	14
3.3.1.1. Tarifes del mercat regulat	14
3.3.1.2. Tarifes del mercat lliure	15
3.3.2. Tipus de tarifes segons el peatge d'accés	15
3.3.3. Tarifes d'autoconsum	17
3.3.4. Impostos i altres despeses	18
3.3.5. Desglossament de la factura elèctrica	19
4. ESTUDI DE LES VARIABLES DEL PROJECTE	21
4.1. Consum elèctric	21
4.1.1. Preu de l'electricitat	21
4.2. Radiació solar	23
4.2.1. Posició i orientació de les plaques	24
4.2.2. Valors de radiació i orientació de plaques per a l'estudi	25
5. ESTUDI DELS COMPONENTS DE LA INSTAL·LACIÓ	27
5.1. Plaques fotovoltaïques	27
5.1.1. Característiques dels panells	29
5.1.2. Tria de les plaques de l'estudi	30
5.2. Estructura de suport de les plaques	30
5.3. Inversor CC/CA	31
5.4. Comptador	32
5.5. Altres components	32
6. SIMULACIÓ I PRESENTACIÓ DELS CONSUMS	34
6.1. Perfils de consum a estudiar	34

6.2.	Tipus de tarifes de l'estudi	36
6.3.	Programa de Simulació	37
6.3.1.	Càlcul del terme d'energia	38
6.3.2.	Balanç d'energia	39
6.3.3.	Anàlisi econòmic	44
6.3.3.1.	Càlcul de les despeses	46
6.3.3.2.	Càlcul de l'estalvi econòmic anual	48
6.3.3.3.	Fluxos de caixa	51
6.3.4.	Comparació	52
7.	ANÀLISI DE RESULTATS	54
7.1.	Taula de casos	54
7.2.	Resultats	56
7.2.1.	Explicació dels resultats del perfil de consum A	57
7.2.2.	Resultats de la resta de perfils de consum	60
7.2.3.	Influència del preu en el TIR i en el VAN	63
7.3.	Impacte mediambiental	65
7.4.	Cost de l'estudi	67
7.5.	Cronograma	68
8.	CONCLUSIONS	69
	BIBLIOGRAFIA	70
	Referències bibliogràfiques	70
	Bibliografia complementària	72

1. Glossari

Autoconsum: consum d'energia elèctrica provinent d'instal·lacions de generació connectades a l'interior d'una xarxa d'un consumidor o a través d'una línia directa d'energia elèctrica associades a un consumidor.

Compensació d'excedents: remuneració a la factura elèctrica de l'energia produïda per la instal·lació d'autoconsum i abocada a la xarxa per manca d'utilització.

Discriminació horària: diversificació en períodes del preu de l'electricitat, que l'encareix durant les hores de major demanda i l'abarateix en les hores on la demanda és baixa.

Energia fotovoltaica: energia renovable que prové de la llum solar i que es transforma en electricitat (o energia elèctrica) a través de l'anomenat efecte fotoelèctric.

Energia renovable: energia que prové d'una font d'origen natural inesgotable, ja que són capaces de regenerar-se, com la llum solar, el vent o l'aigua.

Instal·lació d'autoconsum aïllada: instal·lació fotovoltaica que no està connectada a la xarxa elèctrica i que, per tant, implica que tot el consum elèctric del habitatge provingui de l'energia fotovoltaica proporcionada.

Instal·lació d'autoconsum connectada a la xarxa: complement a una instal·lació elèctrica convencional que s'utilitza per reduir el consum d'electricitat demandat a la xarxa elèctrica mitjançant una instal·lació fotovoltaica per auto proveir-se.

Payback: període d'amortització que mesura en anys el temps que requereix una inversió inicial per compensar-se en funció d'uns ingressos i unes despeses constants o variables.

Perfil de consum: cas específic de consum elèctric caracteritzat per la quantitat d'energia consumida i per l'hora on es produeix la demanda a la xarxa.

Període DH: Abreviatura per especificar els diferents períodes de discriminació horària que determinen el preu de l'energia segons la tarifa.

Tarifa elèctrica: contracte amb una comercialitzadora elèctrica que determina el preu de la potència elèctrica màxima que demanda els aparells d'un habitatge i de l'energia consumida de la xarxa.

2. Prefaci

El canvi climàtic és una realitat que es pot considerar com una amenaça cap a la nostra societat actual i cap a les societats futures. Dia rere dia, des dels diferents àmbits professionals i estudiantils, es treballa en buscar solucions a aquest gran problema. Això comporta canvis en la producció, el consum, el transport, etc. I des dels diferents sectors es busca no només com fer aquests canvis sinó també en fer-ho de la forma més rendible possible.

L'obtenció de l'energia necessària per cobrir la demanda domèstica i industrial també està canviant: les energies renovables són a prop de sobrepassar el 50% de la generació d'electricitat a Espanya, deixant enrere altres fonts no-renovables i molt contaminants com el carbó o el gas natural.

També els governs i organitzacions internacionals presenten cada dia noves normatives que encaren un futur pròxim cada cop més sostenible i ecològic. Així doncs, sigui per llei, per conscienciació personal o per evitar un desastre mediambiental, ens veiem obligats a buscar maneres de progressar pensant cada cop més en el medi que ens envolta.

D'altra banda, l'economia mundial és del tot imprevisible i mai podem estar completament segurs de que evolucionarà cap a un horitzó o cap a un altre. Això afecta directament als mercats de tot tipus, i d'entre ells, el de l'energia. És per això que el preu de l'electricitat fluctua amb el pas del temps i, a l'hora de fer inversions grans com la instal·lació d'un sistema d'autoconsum, és imprescindible saber si tindran rendibilitat en un futur.

2.1. Motivació

Aquesta realitat que vivim actualment i la meva preocupació sobre el canvi climàtic ha sigut la que m'ha empès a fer aquest projecte sobre energia renovable. Últimament, a Espanya s'han derogat lleis que dificultaven l'accés a l'energia solar i poc a poc es va fomentant més l'energia sostenible. Això fa que, en un futur pròxim, més famílies decideixin fer el salt i invertir en un sistema d'autoconsum mitjançant plaques fotovoltaïques.

Tot i així, fa relativament pocs anys vam viure una crisi econòmica mundial que va fer trontollar tot el mercat i això ha generat por en aquest temps de recuperació. Així doncs, la meva motivació cap a aquest treball no només passa per l'àmbit mediambiental, sinó també per l'econòmic, doncs vull estudiar quin impacte tindria tant una caiguda com una pujada de preus de l'electricitat en els anys posteriors al projecte d'instal·lació de plaques fotovoltaïques a un habitatge unifamiliar.

2.2. Objectius del projecte

La principal finalitat d'aquest estudi és la implicació en posar-li fre al canvi climàtic amb la disminució de l'impacte ambiental de la energia generada, impulsant les energies renovables, com és en aquest cas l'energia fotovoltaica. Per això, el projecte porta com a propòsit aportar més coneixement estudiant la viabilitat tècnica, econòmica i ambiental d'aquestes instal·lacions d'autoconsum amb la variació de preus i tarifes.

Tot i haver-hi un objectiu final que és trobar la relació entre la viabilitat d'una instal·lació fotovoltaica i la tarifa elèctrica (incloent discriminació horària i preus), també existeixen altres punts que són necessaris analitzar abans d'arribar al càlcul i a les conclusions posteriors.

Els objectius secundaris són:

- Estudiar les normatives actuals que presenta el marc legislatiu espanyol. L'any previ a aquest estudi, 2019, el govern espanyol va aprovar un *Real Decreto* que fomenta l'autoconsum, regulant la compensació pels excedents d'energia que poden produir les plaques.
- Realitzar un anàlisi de la situació actual a Espanya respecte a l'ús de plaques solars per part de la població. Aquesta situació s'ha vist afectada, segurament, pel *Real Decreto* tot just mencionat, així que cal conèixer també quina és la realitat que viu aquest sector actualment.
- Analitzar quines són les variables que afecten a la nostra instal·lació. Aquestes poden ser: l'energia solar capaç d'obtenir segons la ubicació triada, les diferents despeses que consten a la factura elèctrica, les diferents tarifes que hi ha al mercat, etc.
- Fer una recerca dels diferents components que formen la instal·lació fotovoltaica i realitzar una comparativa per conèixer quines són les millors ofertes que existeixen actualment al mercat i que s'ajusten més al nostre cas a estudiar.
- Construir un programa de simulació capaç de fer una recreació aproximada de la producció que podrien fer les plaques durant un temps concret i del consum que l'habitatge té. Tot i partir d'uns perfils de consum anuals reals, no coneixem el quina és la demanda hora a hora, per això ens cal fer aquest programa que el simuli de manera creïble.
- Conèixer quin és l'impacte mediambiental que es produiria si el projecte es portés a terme. Tot i que aquest estudi és imprescindible per a qualsevol projecte, en aquest treball és més essencial encara ja que la principal motivació (esmentada

abans) és la contribució al progrés cap a un futur sostenible.

- Per últim, com l'estudi es farà en cinc casos d'habitatge diferents, es farà una comparativa entre tots ells i es determinarà quines són les diferències que hi ha entre ells, en el cas d'haver-les.

2.3. Abast del projecte

L'espai de treball que permetrà treure les conclusions consisteix en el muntatge d'un sistema d'autoconsum en llars unifamiliars, com pot ser una casa o un xalet. Es va considerar també un possible projecte sobre un edifici amb diferents habitatges, com una comunitat de veïns, però a dia d'avui no es pot considerar una opció viable ja que les plaques fotovoltaïques necessàries ocuparien més espai del que pot disposar la majoria de terrats de pisos. Els habitatges unifamiliars a estudiar es trobaran tots a la ciutat de Barcelona.

També es va considerar el sector industrial i el comercial. Aquests es van descartar també ja que, a més de presentar una dificultat per aconseguir perfils de consums reals (major a la d'aconseguir consums d'habitatges), apareixerien un ventall de casos molt ampli. Superfícies i consums molt diversos on s'haurien d'aplicar mesures diferents, a nivell tècnic, econòmic i normatiu.

A més, el tipus d'instal·lació domèstica de l'estudi és aquella que té connexió a la xarxa elèctrica, és a dir, que no és aïllada. En seguir connectat a la xarxa, el propietari de la llar continua pagant una factura elèctrica i aquí és on farem la comparativa de preus i analitzarem la rendibilitat de la instal·lació.

3. Introducció

3.1. Situació de les energies renovables a Espanya

El territori espanyol és idoni per a les fonts d'energia renovables. Les hores de sol i vent, juntament amb la geografia accidentada fan possible que part de la demanda d'electricitat actual pugui ser proveïda per tecnologies renovables.

Segons la REE (Red Eléctrica de España), l'any previ a aquest estudi, 2019, Espanya va tancar l'any arribant a rècords històrics en l'avenç contra la l'emissió de CO₂ a l'atmosfera pel que fa al sector energètic: el 58,6% de l'electricitat produïda provenia de fonts que no emeten diòxid de carboni. Aquest número es redueix en un 36,8% si parlem només d'energies renovables, on predominen l'eòlica i la hidràulica, que disminueix respecte l'any anterior amb un percentatge del 38,5%. Això és degut a la caiguda de la producció de l'energia hidràulica, afectada per les sequeres, que va disparar el consum de cicle combinat (que utilitza gas natural) [1].

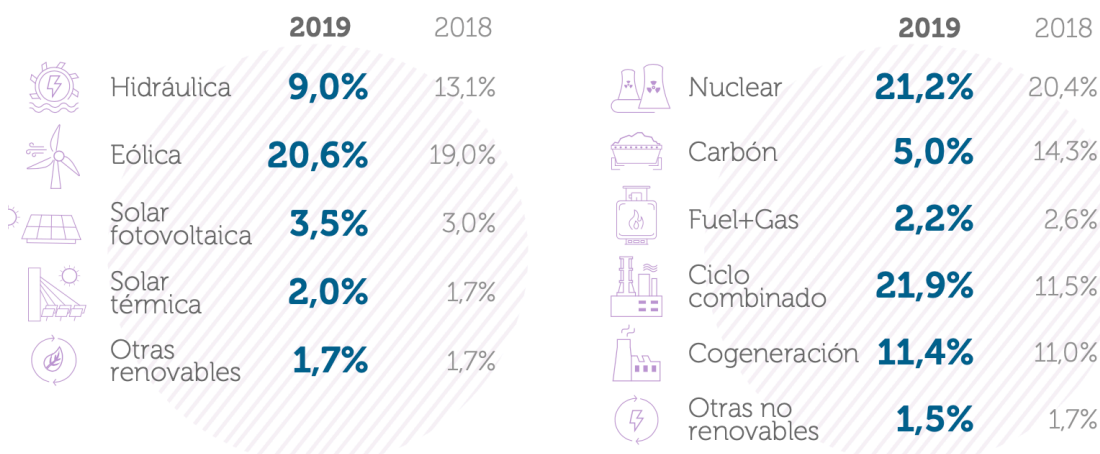


Figura 1: Percentatge de generació d'energia del sistema elèctric nacional (REE, 2019)

La generació d'energia provinent del carbó cau fins al 5%, quedant com a sisena font principal i mostrant una caiguda que fa preveure la seva aviat desaparició. Les restrictives regulacions per part de la Unió Europea que no permetran a les centrals elèctriques de carbó seguir en funcionament a partir de 2012 si no redueixen dràsticament el seu impacte ambiental semblen tenir efecte. Tot i així, el cicle combinat, tot i ser molt menys contaminant que el carbó (amb factor d'emissions entorn a tres vegades menor) segueix sent la primera font d'energia de l'estat i seguida de ben poc de la nuclear.

Pel que fa a les energies renovables, però, les subhastes han crescut exponencialment des dels anys 2016 i 2017 i s'han afegit més de 5 GW de potència en tecnologies renovables. D'aquestes, la que ha sortit més favorable és aquella amb la que es treballa

en aquest projecte, l'energia fotovoltaica, que ha tancat 2019 amb més de 7.800 MW de potència instal·lada fent un augment respecte al 2018 del 66%.

Aquest creixement és degut a la situació actual de l'estat. El govern actual, després de tombar el famós "impost al Sol", va aprovar un decret que feia possible la compensació per excedents d'energia per a aquelles instal·lacions d'autoconsum de menys de 100 kW sempre i quan l'energia fos renovable. A més, des del govern de la Generalitat, també s'han pres mesures. El passat mes de novembre va ser aprovat un decret llei per eliminar les dificultats administratives i facilitar els tràmits.

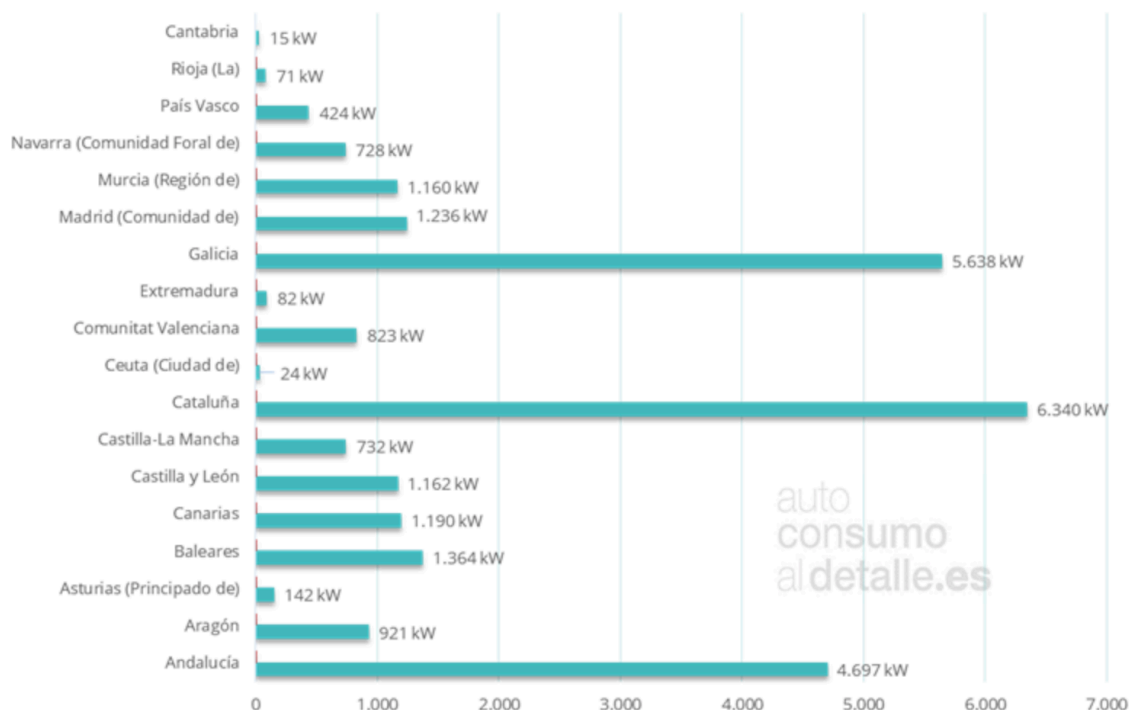


Figura 2: Nombre d'instal·lacions d'autoconsum a Espanya per CCAA (Desembre 2018, EnerAgen [2])

Com es pot comprovar a la Figura 2, Catalunya i Andalusia eren al capdavant en el nombre d'instal·lacions fotovoltaïques per comunitat autònoma amb al voltant de 300. La situació ha continuat sent així fins als començaments del 2020. A Catalunya (on situarem la simulació del nostre estudi, en concret a Barcelona) només durant el mes de gener d'aquest any 2020, s'han registrat segons dades de la Generalitat 533 noves instal·lacions d'autoconsum deixant un total de 2.776 amb 38,33 MW de potència totals (deixant molt enrere les 300 de poc més d'un any enrere). D'aquest total, un 10% pertanyen a instal·lacions aïllades i el 90% restant a instal·lacions connectades a xarxa.

3.2. Normativa

L'any 2015 es va aprovar per part del govern espanyol el *Real Decreto 900/2015* [3] per regular les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum. La mesura principal era l'aplicació d'una sèrie d'impostos, coneguts com *impost al sol*, la quantia dels quals variaven en funció de l'energia produïda per les plaques fotovoltaïques, a més d'un altre fixe per la connexió a la xarxa de la instal·lació.

El descontentament i les crítiques per part del sector energètic cap a aquestes restriccions, juntament a la caiguda del mercat fotovoltaic al país, va provocar que des del govern es prenguessin mesures. Primerament, al 2018, es va derogar aquest *impost al sol* i es van simplificar els tràmits administratius per les instal·lacions d'autoconsum, mostrant una voluntat cap a l'evolució d'aquest sector. Les mesures esmentades es van dur a terme amb l'aprovació del *Real Decreto-Ley 15/2018* [4].

Seguidament, el passat abril del 2019 va ser aprovat el *Real Decreto 244/2019* [5] per substituir completament a l'antic decret de 2015 que havia provocat que Espanya no estigués a l'alçada d'altres països d'Europa pel que fa al sector de l'energia fotovoltaica.

Aquest decret inclou, entre d'altres, les següents mesures:

- En cas de tenir una instal·lació d'autoconsum de fins a 100 kW, s'habilita que les comercialitzadores elèctriques facin un descompte a la factura elèctrica si es consumeix menys energia que aquella que produeixen les plaques, anomenada compensació d'excedents. Aquesta remuneració pot dependre del mercat regulat (on el preu variarà cada dia depenent de la demanda) o del mercat regulat (on el preu es fixa amb un acord entre el consumidor i la comercialitzadora).
- Es permet l'autoconsum compartit entre, per exemple, associacions i comunitats de veïns.
- Són eliminats els límits de potència que regulaven que la potència fotovoltaica no podia ser major a la contractada, així com també la obligatorietat de posseir un comptador de generació.
- Es permet el lloguer d'espais per a que tercers generin electricitat i es comparteixin els beneficis.

Alhora, el decret també realitza una nova definició d'autoconsum com a "consum per part d'un a diversos consumidors d'energia elèctrica provinent d'instal·lacions de generació properes a les de consum i associades a les mateixes" i divideix les modalitats en dos:

Autoconsum sense excedents	Autoconsum amb excedents
Aquestes instal·lacions no produeixen més energia de la que es consumeix. També són anomenades d' <i>injecció 0</i> i tenen instal·lat un sistema antiabocador.	<p>- Amb compensació: un comptador bidireccional mesura quants kWh d'energia són abocats. La companyia elèctrica fixa un preu al kWh per fer el descompte a la factura. Aquesta opció és només per les instal·lacions amb menys de 100 kW de potència.</p> <p>- Sense compensació: els excedents d'energia són abocats a la xarxa elèctrica sense remuneració.</p>

Taula 1: Modalitats d'autoconsum segons el Real Decreto 244/2019

Pel que fa a Catalunya, el govern de la Generalitat va aprovar el *Decreto-Ley 16/2019* [6] el passat mes de novembre. Aquest derogava un altre decret que va ser aprovat l'any 2009, el *Decreto-Ley 147/2009* [7], que limitava la superfície de construcció de parcs eòlics i fotovoltaics, i estableix nous criteris per a la implementació d'aquestes instal·lacions.

Pel que fa a l'autoconsum, el decret regula que les sol·licituds per a la construcció es tramitaran per comunicació prèvia enlloc de per llicència d'obres, fet que fa que el procés s'agilitzi molt. Els ajuntaments són els encarregats de validar si el projecte realitzat pels instal·ladors compleix les normes de seguretat, tot i que està permès iniciar la construcció prèviament a l'acceptació oficial.

3.2.1. Subvencions

Degut als objectius europeus de passar-se a l'energia renovable, ens trobem amb una gran varietat d'ajuts i subvencions per a l'autoconsum. N'existeixen de dos tipus:

- **Subvencions sobre el preu de la instal·lació:** són aquelles que s'apliquen sobre el preu total de la construcció i poden arribar a quanties d'aproximadament 3.500€.
- **Subvencions sobre els impostos:** s'apliquen a nivell municipal amb reduccions de l'IBI (Impost sobre Béns Immobles) i de l'ICIO (Impost sobre Construccions, Instal·lacions i Obres).

Aquests ajuts varien segons la ubicació on es dugui a terme aquesta construcció. Pel que fa a la ciutat de Barcelona, l'ajuntament ofereix subvencions de fins el 50% del cost total (amb un màxim de 3.500€ en el cas de ser un habitatge) amb l'acreditació d'un contracte

de manteniment per un mínim de 4 anys [8]. L'habitatge ha de ser residència habitual permanent en què el 70% de la superfície estigui destinada a habitatge habitual. Un cop finalitzades les obres i amb la documentació requerida, es pot realitzar la sol·licitud de pagament de l'ajut.

3.3. Factura Elèctrica

Prèviament a fer l'estudi tecno-econòmic del sistema, cal conèixer quines són les despeses desglossades a la factura elèctrica. Com la instal·lació a estudiar està connectada a xarxa, és necessari un contracte amb una de les diferents comercialitzadores.

3.3.1. Tipus de tarifes segons el mercat

Existeixen dos modalitats de tarifa (per a instal·lacions amb o sense autoconsum) que es diferencien segons el mercat que regula els preus: el mercat regulat i el mercat lliure.

3.3.1.1. Tarifes del mercat regulat

Les tarifes del mercat regulat són aquelles que ofereixen el PVPC (Preu Voluntari per al Petit Consumidor). El preu dels kWh consumits és fixat pel govern estatal, un preu a cada hora del dia, i només és comprovable el dia anterior. Els preus hora a hora del dia posterior són publicats cada dia al web de la *Red Eléctrica de España*.

Existeixen tres variants de tarifes amb PVPC:

- **Tarifa de llum per hores:** mitjançant un comptador digital, la comercialitzadora rebrà les dades de consum de cada una de les hores del dia i hi assignarà el preu que el PVPC marca per aquella hora.
- **Tarifa fixa anual:** el preu del kWh que el consumidor haurà de pagar a la comercialitzadora serà el mateix durant tots els dies dels 12 mesos de l'any.
- **Preu mitjà ponderat:** es calcula el preu total per un període de facturació en funció de la mitjana d'energia consumida.

Per contractar una tarifa PVPC és necessari cercar una comercialitzadora de referència, ja que no totes les comercialitzadores elèctriques tenen ofertes del mercat regulat. Aquestes companyies tenen autorització del *Gobierno* i de la *Comisión Nacional de los Mercados y las Competencias* per oferir aquestes tarifes. Algunes d'aquestes comercialitzadores són Endesa, Iberdrola, Naturgy o EDP.

Com a avantatges de les tarifes del mercat regulat, aquestes no exigeixen la contractació de serveis de manteniment i està pensada per protegir als petits consumidors ja que els

preus són fixats per l'estat. Com a desavantatges, el preu de l'energia no es pot conèixer amb anterioritat (només d'un dia) fet que pot crear incertesa i només existeix una única alternativa, contràriament amb el ventall d'ofertes que presenta el mercat lliure.

Per als consumidors de PVPC amb pocs recursos, existeix un bo social que rebaixa el preu del mercat regulat en un 25%. Les persones que poden optar a aquest bo són aquelles que tenen menys de 3 kW de potència contractada, pensionistes, incapacitats permanents, famílies nombroses i famílies amb tots els membres desocupats.

3.3.1.2. Tarifes del mercat lliure

Al mercat lliure, les empreses privades són les que fixen els preus i ofereixen els descomptes al seu parer. Tot i no tenir uns límits establerts, els seus preus solen voltar entorn el preu del kWh del mercat regulat. A diferència amb el mercat regulat, un cop el client signa el contracte amb la comercialitzadora, ja sap quins són els preus establerts per al període contractat. Les ofertes poden a més oferir altres serveis, com per exemple una tarifa de gas.

Com a avantatges del mercat lliure sobre el regulat, d'una banda el client no té la incertesa de quin preu pagarà en un futur pròxim doncs aquest està fixat durant un període de temps; i d'altra banda, els descomptes que ofereixen aquestes empreses poden suposar estalvis importants en la factura.

Com a desavantatges, les comercialitzadores poden incloure la contractació de serveis de manteniment obligatori i els contractes poden tenir un període de permanència.

3.3.2. Tipus de tarifes segons el peatge d'accés

Els peatges o tarifes d'accés són aquelles despeses que genera el sistema elèctric i que ha de desembossar el consumidor per tal d'accedir a la xarxa. Aquestes despeses poden ser, per exemple, el transport i la distribució de l'electricitat o la gestió comercial, i poden arribar al voltant del 40% del total de la factura elèctrica.

El ministeri d'Energia és qui estipula els preus. Les variables de les quals depenen les despeses dels peatges d'accés són: la tensió de la xarxa elèctrica, la potència contractada i els períodes de discriminació horària, que modifiquen el preu de l'energia segons l'hora del dia (a la nit, quan la demanda és més baixa, el preu disminueix).

El passat 15 de Gener, la CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia), amb les competències que el govern espanyol li va atorgar amb el *Real Decreto-Ley 1/2019 [9]*, va aprovar una circular per reestructurar les tarifes d'accés que es posarà en marxa en algun moment d'aquest any 2020 (amb data límit l'1 de Novembre). Les modificacions introdueixen discriminació horària a tots els peatges, una simplificació dels períodes horaris, un peatge per als punts de subministrament dedicats a la càrrega de vehicles

elèctrics d'accés públic i la unificació en un únic preu als consumidors de baixa tensió amb potència inferior a 15 kW.

Aquesta última modificació és la que més interessa en el nostre projecte, ja que els consumidors domèstics tenen baixa tensió (menor a 1kV) i una potència contractada menor a 15 kW en la gran majoria de casos. La tarifa esmentada tindrà el nom de 2.0TD i agruparà a totes aquelles tarifes actualment en servei que apareixen a la *Taula 2*.

	Tarifa	Períodes de discriminació	Potència contractada
<i>Tarifes Antiques (fins la implantació de la tarifa única)</i>	2.0A	1	Fins a 10 kW
	2.0DHA	2	Fins a 10 kW
	2.0DHS	3	Fins a 10 kW
	2.1A	1	De 10 a 15 kW
	2.1DHA	2	De 10 a 15 kW
	2.1DHS	3	De 10 a 15 kW
<i>Tarifa Nova</i>	2.0TD	3	Fins a 15 kW

Taula 2: Tarifes d'accés abans i després de l'activació de la tarifa 2.0TD

En els 3 períodes de discriminació horària que trobem a la tarifa 2.0TD, es distingeixen els períodes punta, pla i vall. A la península i a les illes (Balears i Canàries) trobem uns horaris determinats per a cada període i en funció si és dia laborable o festiu plasmats a la *Taula 3*. A Ceuta i Melilla, degut a la posició geogràfica, existeix una petita variació en les hores. Els horaris, a diferència d'antigues tarifes, no varien en funció de l'estació de l'any.

P1 Període Punta	P2 Període Pla	P3 Període Vall
10h – 14h 18h – 22h (Laborables)	8h – 10h 14h – 18h 22h – 24h (Laborables)	0h – 8h (Laborables) 0h – 24h (Festius i caps de setmana)

Taula 3: Períodes de discriminació horària de la tarifa 2.0TD

A més de la discriminació horària en tres períodes, la nova tarifa 2.0TD permet la possibilitat de diferenciar entre dos períodes de potència diferents. El període P1 va des de les 8h fins

les 24h i el període P2 des de les 0h fins les 8h. Aquesta distinció és optativa, així doncs el consumidor triarà si vol disposar de dues potències diferents segons l'hora del dia o d'una sola per tot el dia.

Pel que fa als preus oficials aprovats per la CNMC, encara no es pot disposar dels pertanyents a la tarifa 2.0TD ja que encara no està en funcionament. Tot i així, estan publicats els peatges de les tarifes antigues que fixa el ministeri d'Energia per aquest any i fins la implantació de la tarifa nova. A la *Figura 3* podem comprovar els preus de les tarifes 2.0A, 2.0DHA i 2.0DHS per al mercat lliure i a la *Figura 4* per al mercat regulat [10]. Es mostren les tarifes 2.0 i no les tarifes 2.1 ja que cap dels tres perfils de consums reals a estudiar superen els 10 kW de potència.

Potencia ≤ 10 kW	SIN DISCRIMINACIÓN				CON DISCRIMINACIÓN				CON DISCRIMINACIÓN SUPERVALLE			
	TARIFA 2.0A				TARIFA 2.0DHA				TARIFA 2.0DHS			
	TPA €/kW y año	Δ (%)	TEA €/kWh	Δ (%)	TPA €/kW y año	Δ (%)	TEA €/kWh	Δ (%)	TPA €/kW y año	Δ (%)	TEA €/kWh	Δ (%)
	38,043426	0,00%	0,044027	0,00%	38,043426	0,00%	P1: 0,062012 P2: 0,002215	P1: 0,0% P2: 0,0%	38,043426	0,00%	P1: 0,062012 P2: 0,002879 P3: 0,000886	P1: 0,0% P2: 0,0% P3: 0,0%

Figura 3: Peatges d'accés del ministeri d'Energia fins la implantació de la tarifa 2.0TD

TARIFA 2.0DHS	Peaje de acceso ⁽¹⁾	
	Termino de potencia €/kW y mes	Termino de energía €/kWh y mes
	3,1702855	Periodo1: 0,062012 Periodo2: 0,002879 Periodo3: 0,000886
TARIFA 2.0DH	Peaje de acceso ⁽¹⁾	
	Termino de potencia €/kW y mes	Termino de energía €/kWh y mes
	3,1702855	Periodo1: 0,062012 Periodo2: 0,002215
TARIFA 2.0A	Peaje de acceso ⁽¹⁾	
	Termino de potencia €/kW y mes	Termino de energía €/kWh y mes
	3,1702855	0,044027

Figura 4: Peatges d'accés per als consumidors de PVPC

3.3.3. Tarifes d'autoconsum

Pel que fa als consumidors que tenen una instal·lació d'autoconsum (com és el cas del nostre projecte), és necessari contractar una tarifa que proporcioni, a més dels serveis esmentats als apartats anteriors, un preu pels excedent d'energia.

Així com amb la resta de tarifes, podem optar pel mercat regulat o pel mercat lliure. Els preus als quals es farà el descompte dels excedents, al igual que amb el preu del consum, ve fixat pel contracte en el cas del mercat lliure i es publica a diari en el cas dels PVPC.

Existeix un ventall de comercialitzadores que, a més d'oferir tarifes amb compensació per excedents d'energia, s'encarreguen del procés d'obtenció del sistema d'autoconsum. Realitzen pressupostos que inclouen l'estudi, el disseny, la instal·lació i la gestió per a aquells consumidors que volen fer el pas a l'autoconsum fotovoltaic.

3.3.4. Impuestos i altres despeses

Els impostos sobre la factura elèctrica i el lloguer d'equipaments suposen al voltant del 20% del total de despesa mensual. Aquestes despeses són:

- **Impost sobre l'electricitat:** grava el cost de la producció d'energia i és regulat pel Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme. Actualment, aquest impost és del 5,1127% aplicat al consum d'energia i a la de potència contractada.
- **IVA:** l'Impost sobre el Valor Afegit també s'aplica a la factura elèctrica, essent un afegit del 21% de la quantia total final.
- **Lloguer d'equipament:** quan el consumidor no és propietari del comptador elèctric, la comercialitzadora ofereix el seu lloguer i es cobra amb un extra a la pròpia factura. L'import d'aquest lloguer ve determinat pel govern segons el tipus de comptador (vegeu *Figura 5*).
- **Serveis de la comercialitzadora:** al mercat lliure, alguns contractes de les comercialitzadores comporten l'adquisició de serveis com el de manteniment periòdic obligatori, que suposa un altre despesa extra.
- **Descomptes:** si es pacta amb la comercialitzadora algun tipus d'oferta especial amb descompte, també es veuria reflectit a la factura.

Tipo de contador	Tarifas del alquiler
Contadores monofásicos sin discriminación horaria y sin posibilidad de telegestión para consumidores domésticos ⁽¹⁾	0,54 €/mes
Contadores trifásicos o doble monofásicos sin discriminación horaria y sin posibilidad de telegestión ⁽¹⁾	1,53 €/mes
Contadores monofásicos con discriminación horaria y sin posibilidad de telegestión para consumidores domésticos ⁽¹⁾	1,11 €/mes
Contadores trifásicos o doble monofásicos con discriminación horaria y sin posibilidad de telegestión ⁽¹⁾	2,22 €/mes (doble tarifa)- 2,79 €/mes (triple tarifa)
Contadores monofásicos con discriminación horaria y con posibilidad de telegestión para consumidores domésticos ⁽²⁾	0,81 €/mes
Contadores trifásicos con discriminación horaria y con posibilidad de telegestión para consumidores domésticos ⁽²⁾	1,36 €/mes

Figura 5: Preu del lloguer del comptador fixat pel govern

3.3.5. Desglossament de la factura elèctrica

Un cop coneguts els diferents tipus de tarifes, com afecta tenir o no autoconsum i quins són les despeses i els impostos, procedim a veure com és un exemple de factura elèctrica real.

Factura electricidad y servicios						
EDP ENERGÍA, S.A.U. Plaza del Fresno 2, 33007 - Oviedo (España). Reg. M. Asturias, T.2356, F.119, H. AS-18.665 C.I.F.: A-33543547						
Período facturación: 14.11.2019-15.01.2020						
ELECTRICIDAD						
Consumo 1						
Período	x	Cantidad	x	Precio	=	Subtotal
14.11.2019 - 31.12.2019		543 kWh		0,142161 €/kWh		77,2 €
01.01.2020 - 15.01.2020		174 kWh		0,138472 €/kWh		24,09 €
						94,20 €
Potencia 2						
Potencia contratada: 5,50 kW Peaje de acceso (tarifa): 2.0DHA BOE: 01.02.2014						
Período	x	Potencia	x	Precio	=	Total sin IVA
47 día(s)		5,5 kW		0,115187 €/kW día		29,78 €
15 día(s)		5,5 kW		0,114873 €/kW día		9,48 €
						39,26 €
Otros conceptos 3						
Alquiler de equipos (62 días)						1,66 €
						Total electricidad 135,12 €
Lecturas						
Distribuidora: ENDESA DISTRIBUCION ELECTRICA, S.L.						
Activa P1(kWh) P2(kWh)						
Actual 15.01.2020		0004522		0002305		
Anterior 14.11.2019		0004096		0002014		
Consumo (real)		426,00 kWh		291,00 kWh		717 kWh
TASAS E IMPUESTOS 4						
Impuesto eléctrico						
Consumo	+	Potencia	x	% Impuesto		Total
94,20 €		39,26 €		5,11269632 %		6,82 €
IVA						
Base Imponible (Consumo+Potencia+Alquiler+Impuesto eléctrico)				% Impuesto		Total
141,94 €				21 %		29,81 €
						Total tasas e impuestos 36,63 €
IMPORTE TOTAL ELECTRICIDAD + TASAS E IMPUESTOS 171,75 €						
Información adicional: Precio Luz EDP 1 Plano en vigor desde 01.01.2020 Ref. contrato acceso: 000503972431 Costes permanentes: 0,150% BOE 28.12.2019 Costes de diversificación: 2,040% BOE 28.12.2019 Los precios de electricidad aplicados en esta factura se han actualizado con fecha 01.01.2020 (Cláusulas de Modificación y Precios de las Condiciones Generales del contrato). Puedes acceder gratuitamente a los datos de la medida horaria que han servido para la facturación de tu consumo de electricidad a través de la web de su distribuidor https://zonaprivada.endesadistribucion.es						
SERVICIOS						
Período facturación: 26.11.2019-25.01.2020						
Servicio Funciona 5						
Servicio Funciona		26.11.2019-25.01.2020		20,92 €		Total sin IVA
						20,92 €
						Total servicios 20,92 €
Funciona es el servicio técnico que cuida los aparatos y las instalaciones eléctricas y de gas, previene las averías y las soluciona cuanto antes. En todas las reparaciones, el desplazamiento y las 3 primeras horas de mano de obra son gratuitos.						
TASAS E IMPUESTOS 6						
IVA						
Base Imponible (Funciona)				% Impuesto		Total
20,92 €				21 %		4,39 €
						Total tasas e impuestos 4,39 €
IMPORTE TOTAL SERVICIOS + TASAS E IMPUESTOS 25,31 €						
IMPORTE TOTAL ELECTRICIDAD Y SERVICIOS 197,06 € 7						

Figura 6: Exemple de factura elèctrica real (sense autoconsum)

A la Figura 6 podem observar la segona pàgina d'una factura elèctrica sense autoconsum amb la comercialitzadora EDP d'un habitatge unifamiliar real. A la primera pàgina de la factura consten les dades personals del consumidor titular (nom, cognoms, adreça, número

de comptador, etc.) i a la segona el desglossament de les despeses que suposa la factura.

Per motius de privacitat, s'ha omès la primera pàgina de la factura i ens centrarem a la segona. Fixant-nos en els indicadors numèrics arrodonits en groc a la *Figura 6*, podem distingir les diferents quanties a pagar:

- 1) **Consum:** en aquest primer apartat trobem l'energia consumida en kWh i el període de facturació (en aquest cas, 2 mesos) separats en dos trams pel canvi d'any, ja que les condicions del contracte canvien. Tot seguit, trobem el terme d'energia que correspon al preu en € del kWh (0,142161€/kWh al 2019 i 0,138472 €/kWh al 2020). Així, es calcula el total del càlcul i s'aplica un descompte acordat al contracte, en aquest cas del 7%, i es mostra el preu final de l'energia consumida.
- 2) **Potència:** aquí trobem primerament quina és la tarifa (2.0 DHA, amb discriminació horària en dos trams) i la potència contractada (5,5 kW). Seguidament, veiem el càlcul dels kW de potència contractats pels dies de facturació i pel terme de potència, que correspon al preu del kW per dia.
- 3) **Lloguer d'equipaments:** el preu del lloguer del comptador per 62 dies es suma a la quantia corresponent al consum (variable) i a la potència (fixe) i així obtenim el preu a pagar per l'electricitat sense impostos.
- 4) **Taxes i impostos:** sobre els preus calculats als punts anteriors, s'aplica el 5,1127% d'impost d'electricitat i el 21% d'IVA.
- 5) **Serveis de la comercialitzadora:** la companyia elèctrica, en aquest cas EDP, requereix un servei de manteniment obligatori que suposa una quantia de 10,46€/mes.
- 6) **Taxes sobre el servei:** sobre aquest servei de manteniment s'ha d'aplicar també l'impost sobre el valor afegit del 21%.
- 7) **Import total:** finalment, trobem el preu total que el consumidor ha d'abonar a la comercialitzadora fent la suma del preu de l'electricitat i del servei de manteniment amb els diferents impostos afegits.

4. Estudi de les variables del projecte

Per tal de conèixer la viabilitat d'una instal·lació fotovoltaica, és necessari conèixer quin són els factors que hem d'analitzar, de què depenen i com es calculen. Aquestes magnituds són, d'entre altres, el consum elèctric, la radiació solar o l'estalvi econòmic.

4.1. Consum elèctric

Definim com a consum elèctric la quantitat d'energia demandada a la xarxa elèctrica durant un període determinat. La unitat de mesura utilitzada (per a perfils mitjans, com per exemple habitatges) és el kWh, resultat de la multiplicació de la potència demandada, mesurada en kW, pel temps de demanda en hores.

Per fer ús d'aquest consum, és necessari tenir accés a un punt de generació d'energia. En el cas de la xarxa elèctrica, les centrals de generació (renovables com les eòliques o no renovables com les de cicle combinat) transformen en energia elèctrica altres tipus d'energia provinents de la natura, com la hidroelèctrica o la química. Aquesta electricitat és transportada per una xarxa d'alt voltatge (per a minimitzar pèrdues) fins a unes subestacions de transformació. Des d'aquí, l'empresa distribuïdora transporta l'electricitat fins a una subestació de distribució on envia, d'una banda, electricitat a les indústries amb voltatge mitjà i, d'altra, als nuclis urbans amb baix voltatge.

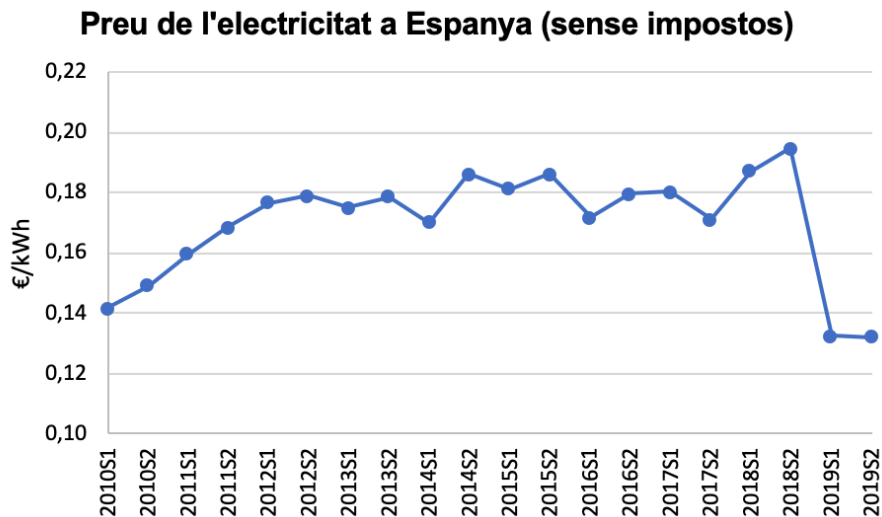
Per poder fer ús de l'energia subministrada per la xarxa, és imprescindible tenir un contracte amb una comercialitzadora. Aquesta és l'encarregada de cobrar mensualment per l'electricitat demandada a la xarxa.

En el cas a estudiar, el consum no es realitza només gràcies a la xarxa elèctrica, sinó també a les plaques fotovoltaïques instal·lades. Aquestes generen una electricitat que pot, o bé ésser consumida per l'habitatge en el moment de la generació, o bé abocada a la xarxa. Pel que fa als kWh consumits pel subministrament de les plaques, es pot considerar que s'estalvien de la xarxa, ja que és energia de franc. I, pel que fa als kWh produïts que s'aboquen, poden ser remunerats o no, segons si la tarifa contractada amb la comercialitzadora compta amb remuneració per compensació d'excedents o no. En el nostre cas, es considerarà que totes les tarifes compten amb remuneració.

4.1.1. Preu de l'electricitat

A Espanya, al igual que a la resta de països, el preu de l'electricitat varia constantment. L'oferta i demanda, entre d'altres factors com la inflació o el preu dels combustibles, fan que el preu del kWh no sigui estable i pateixi tant augments com decreixements anuals.

Per conèixer l'evolució durant els últims anys, és possible consultar els preus al web de l'oficina estadística de la Unió Europea, també coneguda com a Eurostat, que disposa del banc de dades amb l'historial de preus de tots els països de la Unió Europea. Tot i que el preu no és estàndard per a tothom a causa de les tarifes de mercat lliure, el preu que ofereixen les comercialitzadores gira entorn el preu de la energia al mercat regulat (tarifes PVPC).



Gràfic 1: Evolució del preu mitjà de l'electricitat per consumidors domèstics a Espanya.

Font: Eurostat [11]

Al Gràfic 1 es pot veure com, a l'evolució del preu mitjà del kWh a Espanya, les variacions poden arribar a ser molt significatives. Aquestes variacions es representen amb la taxa de creixement anual, que es calcula amb la següent fórmula:

$$\text{Taxa de creixement anual} = \left[\left(\frac{f}{i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \cdot 100$$

Equació 1: Càlcul de la taxa de creixement anual en %

On:

f : valor del preu final [€/kWh]

i : valor del preu inicial [€/kWh]

n : anys de diferència

Fent servir aquesta fórmula amb les dades d'Eurostat, es poden veure resultats diferents segons l'interval triat. Per exemple, entre l'any 2010 i l'any 2019, la taxa de creixement és negativa (-0,699%) a causa de la davallada de l'últim any, però entre 2010 i 2018, aquesta és del 3,23%. Aquesta fluctuació és imprescindible tenir-la en compte al nostre estudi. Per això, no es considerarà un preu constant sinó que aquest serà un altre dels factors a estudiar.

4.2. Radiació solar

L'energia solar és aquella energia renovable que utilitza la radiació per a generar electricitat a partir de l'efecte fotoelèctric. Aquest efecte consisteix en l'alliberació d'electrons d'una superfície metàl·lica per la incidència de la radiació de la llum ultraviolada, de manera que aquesta emissió crea un corrent elèctric.

El Sol produeix una potència radiant constant de 1367 W/m^2 però, per diversos factors (atmosfèrics, la forma el·líptica de l'òrbita, la rotació de la terra, etc.), el valor que arriba a un punt de la superfície de la Terra varia. La radiació que capten les plaques fotovoltaïques es pot dividir en tres de diferents:

- **Radiació directa:** és aquella que arriba directament a les plaques, a la que li pot influir la presència de núvols o les hores de Sol diàries segons l'estació de l'any.
- **Radiació difusa:** és aquella que pateix difusió, és a dir, que ha estat propagada en múltiples direccions per l'efecte d'haver travessat un medi determinat, com per exemple un núvol o partícules de contaminació.
- **Radiació d'albedo:** és la radiació ja reflectida a una superfície, com ara al gel o al mar, que impacta sobre la placa.

Per mesurar el nivell de radiació que capten les plaques s'utilitza la magnitud d'irradiància, amb W/m^2 com a unitat del Sistema Internacional. També, per calcular la potència captada durant un interval de temps, s'utilitza la irradiació, mesurada en Wh/m^2 .

$$\text{Irradiació} = (G_b + G_d + G_r) \cdot t = \frac{\text{Potència} \cdot t}{\text{Àrea}} \quad \left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \right]$$

Equació 2: Càlcul de la irradiació solar

On:

G_b : irradiància directa $[\text{W/m}^2]$

G_d : irradiància difusa $[\text{W/m}^2]$

G_r : irradiància reflectida o d'albedo $[\text{W/m}^2]$

t : unitat de temps [hores]

El valor de la irradiància i de la irradiació depèn, no només de factors meteorològics, sinó també de la ubicació geogràfica i de la posició de la placa. La distància entre la posició del sol i la superfície de la placa és variable en el temps, ja que les coordenades de posició del Sol varien, però l'orientació de la placa és un factor clau a l'hora de muntar-les.

4.2.1. Posició i orientació de les plaques

Pel que fa a la posició del Sol, es determina mitjançant dos coordenades: l'altura solar i l'azimut solar. L'altura solar (α) correspon a l'angle que forma el raig solar incident a la placa amb el pla horitzontal d'on es troba la placa. L'azimut solar (ψ) és l'angle que forma la projecció horitzontal del raig solar amb l'orientació sud $\psi = 0^\circ$ (és a dir amb el meridià).

Pel que fa a la posició de les plaques, aquesta pot ser fixa o variable segons el tipus de l'estructura de suport. Si es compta amb un seguidor solar, la placa varia l'orientació per captar el màxim d'energia. L'orientació es determina mitjançant l'azimut del panell i la inclinació. L'azimut del panell (γ) correspon, al igual que l'azimut solar, amb l'angle que forma l'orientació del panell amb la direcció sud i la inclinació (β) és l'angle que forma el pla del panell amb el pla horitzontal. Els valors d'azimut són positius entre el sud i el nord pels quadrants que talla l'eix de l'oest, mentre que als quadrants tallats per l'eix de l'est es troben els angles negatius.

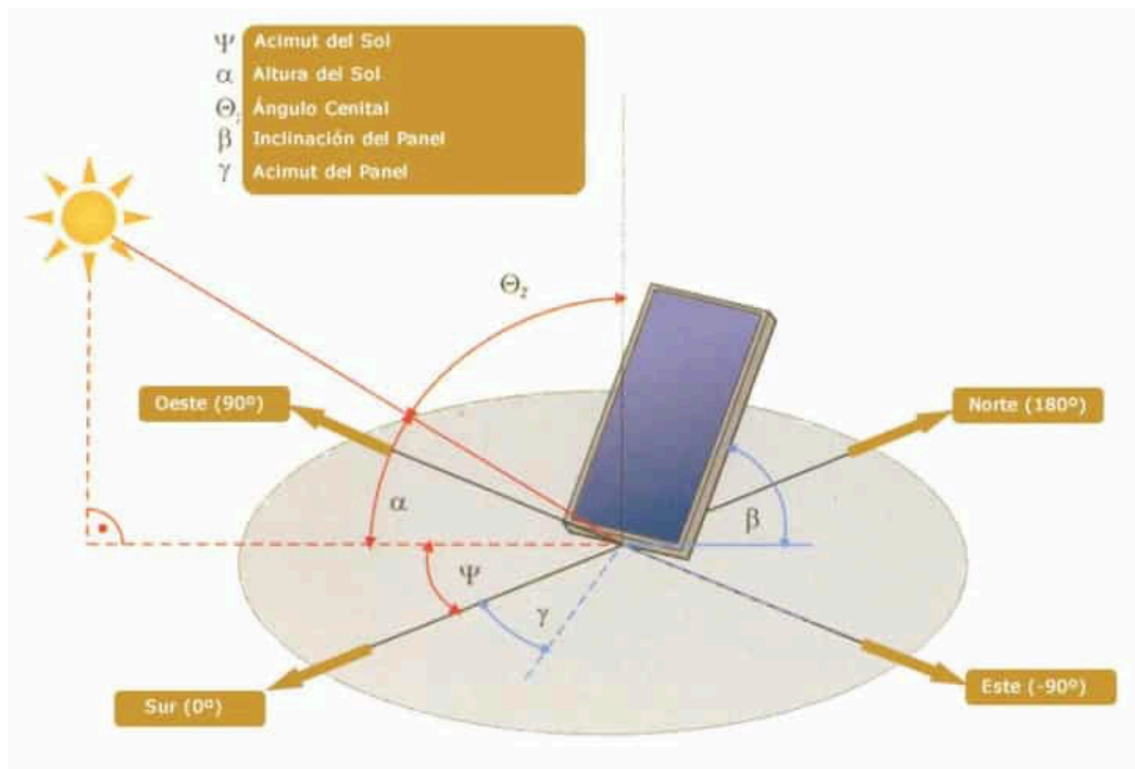


Figura 7: Geometria per determinar la relació de posició Sol – Placa [12]

Per últim, cal també definir la posició geogràfica dels panells amb les coordenades terrestres polars: la latitud (ϕ), l'angle que formen dos radis terrestres entre el punt on es troben les plaques i l'equador (indicant nord o sud) i la longitud (L), l'angle entre els radis terrestres del punt on ens trobem i el meridià de Greenwich (indicant est o oest).

4.2.2. Valors de radiació i orientació de plaques per a l'estudi

Per a aquest projecte s'hi han determinat uns valors específics en relació a la ubicació geogràfica i al posicionament de les plaques. Per començar, l'estudi està contextualitzat a Barcelona, així doncs les coordenades terrestres que triades són les de una ubicació aleatòria al barri de Gràcia: 41,405° de latitud i 2,156° de longitud.

En el cas de l'obtenció dels valors de radiació solar captat per les hipotètiques plaques, s'ha fet servir el programa de la Comissió Europea anomenat PGMIS (*Photovoltaic geographical Information System*) [13]. Gràcies a aquest programari que es troba a l'abast de tothom a internet, és possible aconseguir les dades d'irradiància (directa, difusa i d'albedo) per hores a una determinada ubicació durant un any sencer.

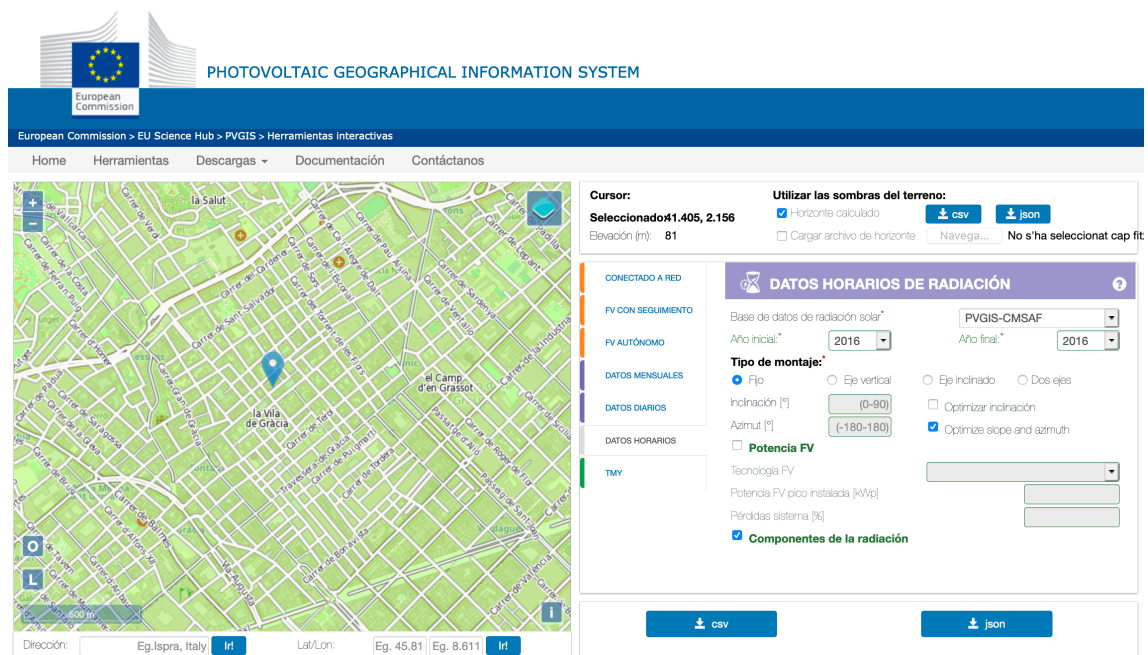


Figura 8: Programa PGMIS amb la ubicació triada

Per a l'obtenció de les dades, a més de la ubicació geogràfica, el programa requereix uns valors per determinar l'orientació de les plaques: la inclinació i l'azimut. Aquesta no podia ser aleatòria, ja que això afectaria en el rendiment de les plaques, així que s'ha optat per utilitzar els valors òptims segons la ubicació, els quals el programa calcula automàticament. Aquests valors són: azimut $\gamma = -3^\circ$ i inclinació $\beta = 36^\circ$.

L'únic inconvenient del programa és que només proporciona dades fins a l'any 2016. Així doncs, s'ha considerat que els valors de radiació entre 2016 i 2019 no són molt diferents i la simulació comptarà amb les dades d'irradiància de 2016. Les dades es recullen en un full d'Excel on apareix dia, hora, els valors dels tres tipus de irradiància (que són els valors que farem servir), altura solar, temperatura de l'aire i velocitat del vent.

Date	Hour	Gb(i)	Gd(i)	Gr(i)	H_sun	T2m	WS10m
01/01/2016	0:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,20	2,43
01/01/2016	1:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,17	2,67
01/01/2016	2:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,14	2,91
01/01/2016	3:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,11	3,14
01/01/2016	4:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,81	3,05
01/01/2016	5:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,50	2,95
01/01/2016	6:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,19	2,86
01/01/2016	7:55:00	0,00	10,34	0,22	5,05	7,30	2,79
01/01/2016	8:55:00	0,14	51,99	1,11	13,34	8,41	2,73
01/01/2016	9:55:00	49,75	147,85	3,35	19,89	9,51	2,66
01/01/2016	10:55:00	18,57	153,90	3,38	24,13	10,41	2,75
01/01/2016	11:55:00	16,40	160,51	3,52	25,59	11,30	2,84
01/01/2016	12:55:00	144,10	206,40	5,09	24,08	12,19	2,92
01/01/2016	13:55:00	248,78	176,02	4,92	19,79	12,53	3,68
01/01/2016	14:55:00	32,11	91,08	2,04	13,21	12,86	4,43
01/01/2016	15:55:00	4,59	21,48	0,47	4,89	13,20	5,19
01/01/2016	16:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,34	5,00
01/01/2016	17:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,48	4,81
01/01/2016	18:55:00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,63	4,62

Taula 4: Dades de irradiància proporcionades pel programa PVGIS

5. Estudi dels components de la instal·lació

Un altre pas a fer a l'estudi és conèixer quin són els components que formen una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum amb compensació d'excedents i factors importants sobre ells com quins costos tenen, quin manteniment requereixen, quin rendiment proporcionen, etc.

Els elements clau de la instal·lació són: les plaques fotovoltaïques, l'inversor CC/CA, el comptador d'autoconsum i el comptador de consum habitual. Tots ells estan representats la *Figura 9* amb el sentit del corrent per cada tram.

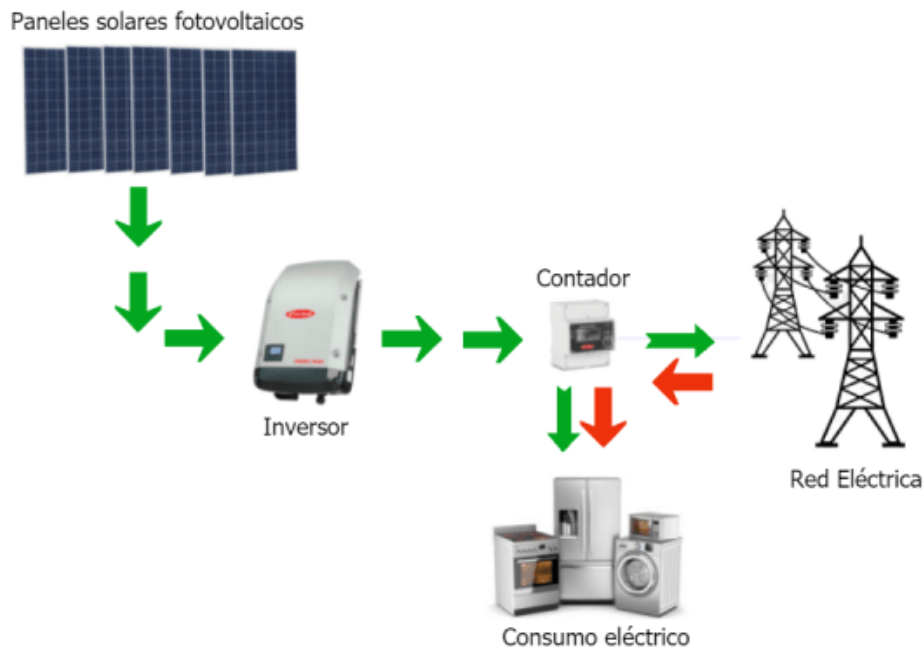


Figura 9: Esquema dels components d'una instal·lació d'autoconsum connectada a la xarxa amb compensació d'excedents [14]

A aquests elements s'hi ha de sumar d'altres com l'estructura de suport de les plaques, el cablejat i les proteccions de seguretat. Cal recordar a més que els casos a estudiar a l'estudi no compten amb bateries per emmagatzemar energia. En aquest cas, l'esquema i els components serien diferents.

5.1. Plaques fotovoltaïques

Els dispositius de la instal·lació on es produeix l'efecte fotovoltaic és a les plaques fotovoltaïques (també conegudes com a panells, mòduls o plaques solars fotovoltaïques), compostes per cel·les connectades les unes a les altres. Actualment, el mercat compta amb diferents tipus de plaques, tot depenent del material metàl·lic que fa servir per a produir l'efecte fotoelèctric: monocristal·lines, policristal·lines, amorfes i flexibles. [15]

- **Plaques monocristal·lines:** aquestes plaques estan formades per un únic sol cristall de silici. Es poden diferenciar perquè són de color negre i les cantonades de cada cel·la estan tallades amb un xamfrà. El seu rendiment és superior a la resta de tipus, podent arribar-hi fins al 20%, tot i que tenen més pèrdues a temperatures altes i el preu també és superior.



Figura 10: Exemple de placa fotovoltaica monocristal·lina [15]

- **Plaques policristal·lines:** el metall de les plaques policristal·lines pateixen un procés de cristallització amb menys fases, fet que fa que es formin diversos cristalls a diferència de les monocristal·lines. La placa té diferents tonalitats del color blau i les cel·les no tenen les cantonades tallades. Aquest tipus de placa produeix menys rendiment que les monocristal·lines (entorn el 14%), tot i que el seu preu també és inferior.

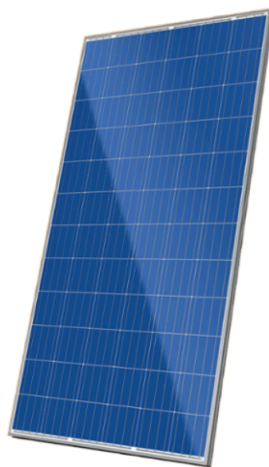


Figura 11: Exemple de placa fotovoltaica policristal·lina [15]

- **Plaques amorfes o de capa fina:** aquest últim tipus de placa, a diferència dels altres, no té cristalls. Consisteix en unes lamine tallades en tires normalment de color marró que, juntes, formen una placa que pot ser flexible. El seu rendiment és menor que el de la resta de tipus ($<10\%$) però presenta el millor comportament davant d'altres temperatures i la seva naturalesa flexible pot resultar útil per la col·locació.



Figura 12: Exemple de placa fotovoltaica amorfa [16]

5.1.1. Característiques dels panells

Pel que fa a les característiques de les plaques, aquestes venen donades per uns valors nominals en condicions estàndards (STC): per a una irradiància de 1000 W/m^2 , a una temperatura de 25°C i una distribució espectral de AM 1,5G (que fa referència l'espectre estàndard a la superfície de la terra i tenint en compte la radiació directa i difusa).

Els paràmetres elèctrics que venen donats a la fitxa tècnica són els següents: [17]

- **Intensitat de curtcircuit (I_{cc}):** és aquella intensitat de corrent que circula pel circuit amb una tensió de 0 V als borns.
- **Tensió en circuit obert (V_{oc}):** és la tensió màxima del panell, mesurable amb un voltímetre sense cap càrrega connectada.
- **Potència màxima (P_{max}):** es mesura en watts pic (Wp) i és la potència màxima que pot proporcionar el panell (quan el producte de la intensitat per la tensió és màxim).
- **Corrent en el punt de màxima potència (I_{mp}):** és el valor de la intensitat quan el valor de la potència és màxim.
- **Voltatge en el punt de màxima potència (V_{mp}):** és el valor de la tensió quan el valor de la potència és màxim.
- **Eficiència (%):** aquest paràmetre defineix el rendiment amb el que el panell converteix en potència elèctrica la potència radiant incident.

5.1.2. Tria de les plaques de l'estudi

Per fer els càlculs necessaris a l'estudi, és necessari triar uns paràmetres determinats i per això s'ha fet un estudi de mercat per trobar unes plaques adequades. Els habitatges unifamiliars no compten amb grans superfícies per col·locar els panells, així que totes aquelles plaques de grans dimensions queden descartades. Les instal·lacions d'autoconsum solen tenir entre 300 i 400 W de potència màxima.

D'entre els diferents tipus de plaques, s'ha comprovat que la diferència de preu actualment entre tots tres no és molt significativa, així doncs, s'ha considerat que una placa monocristalina és la millor opció ja que és la que aporta un rendiment superior.

La placa triada és el model 390W A-390M ATERSA GS de la marca ATERSA [18]. Té un preu de 205 €/placa i ofereix una potència màxima de 390W. La resta de característiques estan recollides a la taula següent:

Panell solar monocristal·lí 390W A-390M ATERSA GS

<i>Intensitat de curtcircuit (I_{cc})</i>	10,36 A
<i>Tensió en circuit obert (V_{oc})</i>	49,8 V
<i>Potència màxima (P_{max})</i>	390 W
<i>Corrent al punt de P_{max} (I_{mp})</i>	9,6 A
<i>Tensió al punt de P_{max} (V_{mp})</i>	41,7 V
<i>Eficiència</i>	20,17 %
<i>Superfície</i>	1979 x 1000 x 40 mm
<i>Garantia</i>	25 anys

Taula 5: Especificacions tècniques de la placa triada

5.2. Estructura de suport de les plaques

Un cop triades les plaques, cal trobar una estructura per a col·locar-les sobre una superfície. Hi poden anar col·locades a diferents superfícies (sostre pla, terra...), però s'ha triat una opció considerada típica en les cases unifamiliars: sobre una teulada amb teules.

Concretament, el model es diu *Estructura Soporte Placas Solares para Cubierta de Teja*

con Salvatejas 02V de la marca Teknosolar® [19]. És apta per a panells de fins a 2000x1000 mm. El seu preu variarà segons el nombre de plaques instal·lades, però aproximadament tindrà un preu de 40 €/placa.



Figura 13: Estructura de suport per a les plaques

5.3. Inversor CC/CA

Un altre dels components de la instal·lació és l'inversor. Aquest aparell és l'encarregat de transformar el corrent continu que generen les plaques en corrent altern, que és el que es fa servir als habitatges. L'onda que genera l'inversor és idèntica a la de la xarxa elèctrica a la que està connectat, un corrent monofàsic a 230 V i 50 Hz en el cas dels habitatges domèstics.

L'inversor, al igual que les plaques, compta amb unes especificacions tècniques com són la tensió nominal, la potència nominal i l'eficiència, així com altres (capacitat de sobrecàrrega, tensió d'entrada d'arrencada, etc.). Però, a diferència dels panells, no es triarà un inversor determinat. La raó és que l'inversor adequat ha de tenir una potència relativament menor a la potència nominal de les plaques. Així doncs, ja que el nombre total de plaques no està definit, no és possible conèixer la potència de l'inversor.

Com a alternativa i per tenir en compte el preu de l'inversor en els costos de la inversió a fer per la instal·lació, s'ha fet un estudi de mercat i s'ha determinat una fórmula (que apareixerà més endavant, a l'anàlisi econòmic) a partir de diferents preus depenent de la potència dels inversors. [20]–[22]



Figura 14: Exemple d'inversor CC/CA

5.4. Comptador

Un altre element necessari és el comptador elèctric. En el cas d'una instal·lació d'autoconsum amb remuneració per compensació d'excedents cal instal·lar un comptador bidireccional, que reculli els kWh generats per les plaques i els kWh demandats a la xarxa.

Per a aquest estudi s'ha triat un comptador bidireccional monofàsic de 100A [23] amb un preu aproximat de 200€.



Figura 15: Comptador bidireccional monofàsic directe de 100 A

5.5. Altres components

Per últim, existeixen altres elements que també formen part de tota instal·lació fotovoltaica:

- **Cablejat:** fa falta un cablejat de coure (de corrent continu entre les plaques i l'inversor i de corrent altern monofàsic per a la resta de la instal·lació) per fer passar el corrent entre els diferents elements.
- **Proteccions:** elements de seguretat com són els interruptors, els fusibles o els

materials aïllants són necessaris per a la regularització de la instal·lació.

- **Presa de terra:** per seguretat, el cablejat de la instal·lació ha de estar connectat a un punt no energitzat, comunament el terra, per a desviar possibles sobretensions que facin malbé els equips.

6. Simulació i presentació dels consums

6.1. Perfils de consum a estudiar

Un cop coneguts els components del sistema, passem a fer els càlculs necessaris per a determinar com afecta la tarifa elèctrica a la rendibilitat de la instal·lació. Per a dur a terme aquests càlculs sobre possibles casos, s'ha disposat de cinc perfils de consum reals diferents (com mostra la *Taula 4*), tots d'ells de domicilis unifamiliars de Barcelona.

Per a millor precisió en l'estudi, s'ha disposat del consum anual per hores dels 365 dies de l'any 2019 i s'ha simulat la generació per a aquest any. L'obtenció d'aquestes dades s'ha dut a terme per mitjà del web de la companyia distribuïdora d'electricitat que, en el cas de Catalunya, és *Endesa Distribución*.

	Potència contractada	Consum anual	Consum diari mitjà
<i>Consum A</i>	6,6 kW	2724 kWh	7,46 kWh
<i>Consum B</i>	3,45 kW	2908 kWh	7,97 kWh
<i>Consum C</i>	9,2 kW	3425 kWh	9,38 kWh
<i>Consum D</i>	5,5 kW	4634 kWh	12,70 kWh
<i>Consum E</i>	3,3 kW	7403 kWh	20,28 kWh

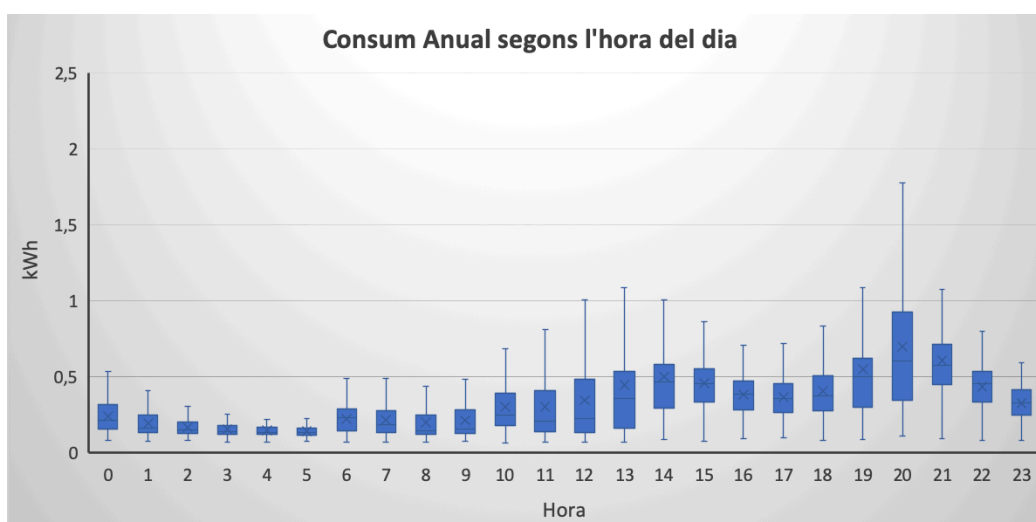
Taula 6: Perfils de consums reals estudiats

Aquests cinc perfils no només tenen un consum anual diferent, sinó que també es diferencien en les hores del dia i els dies de la setmana de màxim consum. Això servirà per a comprovar que les tarifes amb discriminació horària i sense poden ser més o menys beneficioses depenent del moment on es depèn de l'energia subministrada per la xarxa, en conseqüència a la variació de preu.

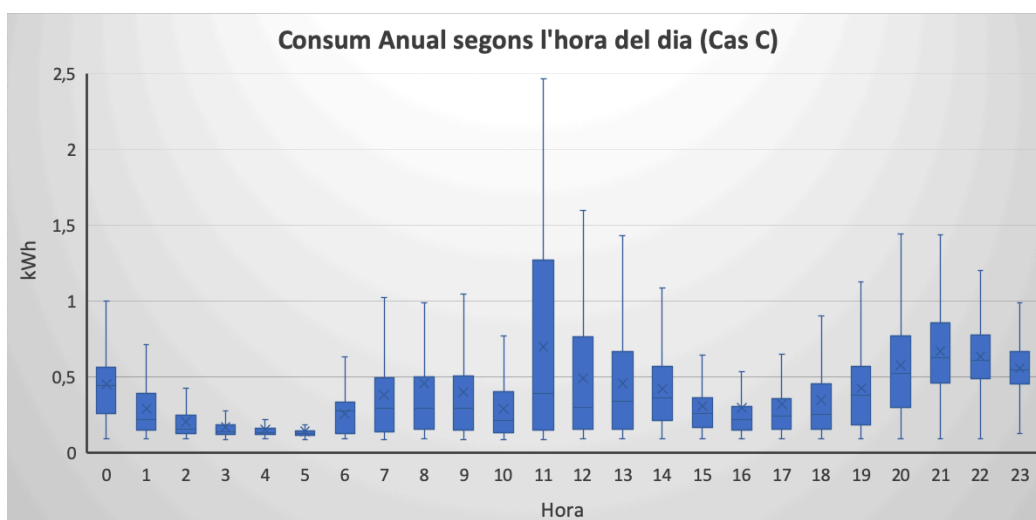
Al consum D, per exemple, el consum es dispara cap a les 14h del migdia i entre les 21h i les 23h i pel que fa als cap de setmana, el consum no varia respecte als dies laborables. Es pot deduir amb aquestes dades que es tracta d'un domicili on el consum es centra especialment al voltant dels àpats del migdia i la nit i que no s'abandona el domicili durant els cap de setmana, així doncs, es pot predir d'una banda que una tarifa amb les hores punta més cares pot resultar en més estalvi amb les plaques ble mentre que una tarifa amb cap de setmanes amb el preu més barat pot resultar en un estalvi més baix amb plaques.



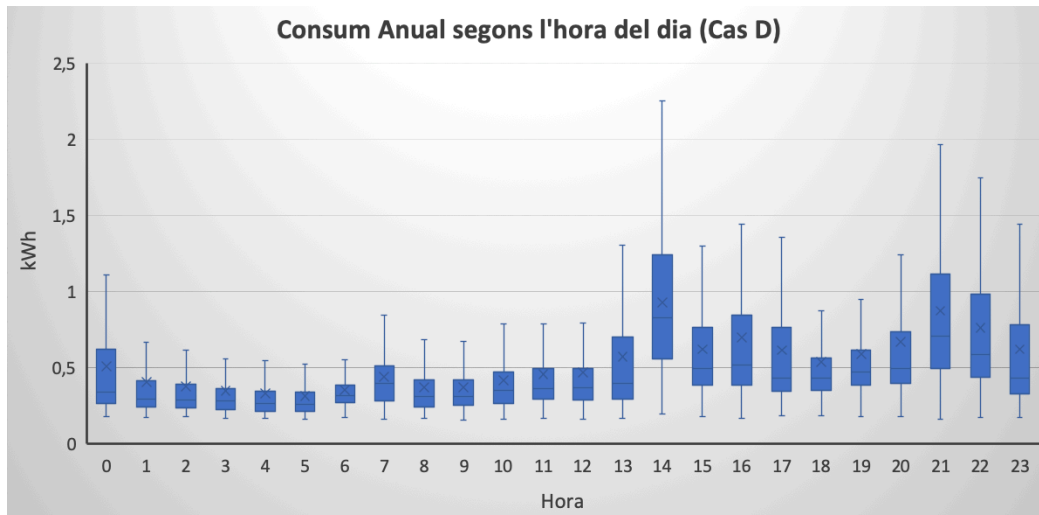
Gràfic 2: Consum anual segons l'hora del dia del Consum A



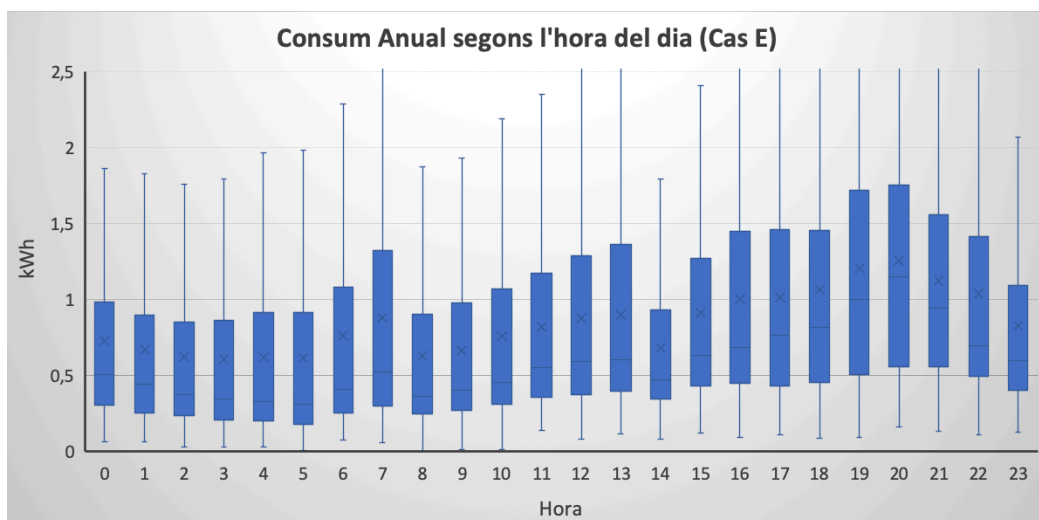
Gràfic 3: Consum anual segons l'hora del dia del Consum B



Gràfic 4: Consum anual segons l'hora del dia del Consum C



Gràfic 5: Consum anual segons l'hora del dia del Consum D



Gràfic 6: Consum anual segons l'hora del dia del Consum E

6.2. Tipus de tarifes de l'estudi

Tot i que la tarifa 2.0 TD és aquella que substituirà a totes les tarifes actuals per a domicilis amb una potència contractada màxima de 15 kW, es realitzarà un estudi amb tres models de tarifes diferents ja que l'objectiu del projecte és conèixer com la pròpia tarifa afecta a la inversió. Les tres tarifes escollides per l'estudi són les següents:

- **Tarifa Plana:** és una tarifa que no compta amb cap mena de discriminació horària. És a dir, el preu del kWh d'electricitat és invariable durant un any sencer a totes hores del dia qualsevol dia de la setmana.
- **Tarifa amb 2 períodes de discriminació horària:** tal i com diu el nom, aquesta tarifa diferencia entre 2 trams horaris anomenats Punta i Vall. Al període Punta el

preu del kWh és més alt (normalment és durant un període d'alta demanda d'energia) mentre que el període Vall el preu és més baix. Les hores que delimiten cadascun dels trams han estat triades comparant diferents tarifes 2.0DHA reals d'empeses com Endesa o Iberdrola. També s'ha tingut en compte un canvi d'horari a conseqüència del canvi d'horari d'estiu i d'hivern (29 de Març i 24 d'Octubre respectivament), tot reflectit a la següent taula:

P1 Període Punta	P2 Període Vall
12h – 21h (Hivern)	22h – 11h (Hivern)
13h – 22h (Estiu)	23h – 12h (Estiu)

Taula 7: Horaris dels 2 períodes a la tarifa amb 2 períodes de DH

- **Tarifa amb 3 períodes de discriminació horària:** aquesta última tarifa és equivalent a la tarifa 2.0 TD on, com s'explica a l'apartat 3.3.2, es divideix les hores del dia en tres franges: punta, pla i vall (les hores corresponents a cadascuna de les tres franges apareix a la *Taula 3*). A més, aquesta tarifa també diferencia entre els dies de la setmana, considerant les 24h de dissabtes i diumenges com a període vall.

A banda de les diferents discriminacions horàries, també es farà una variació del preu de l'energia consumida per la xarxa. El preu de l'electricitat fluctua any rere any i no es possible predir quin serà el preu exacte en un futur. Per aquesta raó, es consideraran diferents taxes d'increment o decreixement del preu per a valorar a partir de quin punt la nostra instal·lació sortirà o no sortirà rendible amb els preus del futur.

6.3. Programa de Simulació

Per a fer la comparativa i l'estudi dels diferents casos i assolir els objectius del projecte, el mètode que ha estat emprat és la utilització d'un programa de simulació creat amb *Microsoft Excel*. En aquest programa farà falta introduir els diferents perfils de consum així com també altres dades com per exemple preus de l'electricitat, preus dels materials de la instal·lació o característiques de les plaques.

Amb la introducció de les dades requerides, aquest programa simularà una situació real amb un horitzó de 25 anys (que coincideix amb els anys de garantia de les plaques) i, mitjançant taules i gràfics, podrem treure conclusions de l'afectació de les diferents tarifes sobre la viabilitat d'una instal·lació fotovoltaica.

6.3.1. Càlcul del terme d'energia

La primera part d'aquest programa serveix per determinar el preu de l'electricitat amb el que treballarà la simulació. Inicialment s'han triat valors actuals estàndards determinats per les tarifes PVPC en el cas de la tarifa plana i la tarifa amb 2 períodes de discriminació horària. En el cas de la tarifa amb 3 discriminacions horàries, a causa de no existir la tarifa PVPC s'ha fet una mitjana entre tarifes DHS de diferents comercialitzadores.

Aquest preu no es pot considerar constant ja que fluctua any rere any, com explica l'apartat 4. A causa de la inestabilitat de l'economia tampoc es pot predir quina serà la seva evolució en el futur. Així doncs, farem servir una taxa de creixement del terme d'energia basat en l'increment dels últims anys però el seu valor es farà variar per comprovar com pot afectar la fluctuació dels preus sobre la rendibilitat de la instal·lació, considerant decreixements i creixements. A més, com aquests valors inicials estàndards poden no ser del tot representatius dels preus actuals, també variarem aquests valors inicials estàndards.

CÀLCUL TERME D'ENERGIA

Terme Energia Inicial P1*	0,1392309	Tarifa amb 3 períodes de discriminació horària
Terme Energia Inicial P2*	0,0800181	
Terme Energia Inicial P3*	0,0687393	
Terme Energia Inicial P1*	0,1427526	Tarifa amb 2 períodes de discriminació horària
Terme Energia Inicial P2*	0,071478	
Terme Energia Inicial*	0,1079037	Tarifa plana (1 període)

1.

Taxa de Creixement	0,95
% TE inicial	0,9

2.

*Preus sense modificar:

Terme Energia Inicial Estàndard P1*	0,154701
Terme Energia Inicial Estàndard P2*	0,088909
Terme Energia Inicial Estàndard P3*	0,076377
Terme Energia Inicial Estàndard P1*	0,158614
Terme Energia Inicial Estàndard P2*	0,07942
Terme Energia Inicial Estàndard*	0,119893

3.

Figura 16: Programa de simulació - Càlcul €/kWh. 1. Termes inicials actualitzats
 2. Taxa de creixement i % aplicat sobre el terme inicial estàndard
 3. Taula amb els termes inicials estàndards (no varien)

Un cop introduïts els termes d'energia inicials estàndards, la taxa de creixement i la reducció/augment del terme d'energia estàndard inicial, el programa completa automàticament 6 taules on apareix el preu del kWh per a cadascuna de les tarifes i cadascun dels períodes de discriminació horària per a un període de 25 anys. Aquests preus serveixen per a que el programa posteriorment formuli els càlculs de l'anàlisi econòmic.

AMB 3 PERÍODES:					
PREUS P1 (PUNTA)					
Any	1	2	3	4	5
€/kWh	0,161604	0,16806816	0,174790886	0,181782522	0,189053823
PREUS P2 (PLA)					
Any	1	2	3	4	5
€/kWh	0,083916	0,08727264	0,090763546	0,094394087	0,098169851
PREUS P3 (VALL)					
Any	1	2	3	4	5
€/kWh	0,056259	0,05850936	0,060849734	0,063283724	0,065815073
AMB 2 PERÍODES					
PREUS P1(PUNTA)					
Any	1	2	3	4	5
€/kWh	0,158614	0,16495856	0,171556902	0,178419178	0,185555946
PREUS P2 (VALL)					
Any	1	2	3	4	5
€/kWh	0,07942	0,0825968	0,085900672	0,089336699	0,092910167
TARIFA PLANA					
PREUS P1					
Any	1	2	3	4	5
€/kWh	0,119893	0,12468872	0,129676269	0,13486332	0,140257852

Figura 17: Programa de simulació - Càlcul €/kWh. Termes d'energia per a cada tarifa

6.3.2. Balanç d'energia

Per a simular el balanç d'energia entre l'energia consumida, la subministrada per les plaques i per la xarxa i l'excedent abocada, es farà a partir del mateix programa d'Excel. A partir del consum per hores anual, la irradiància solar i les característiques de les plaques fotovoltaïques, aquest programa calcula quina és la distribució d'electricitat a la instal·lació. És a dir, calcula quanta energia produeixen les plaques i en relació amb el consum determina si es necessita consumir més energia (en aquest cas de la xarxa) o si existeixen excedents d'energia produïda per les plaques i s'aboca a la xarxa.

BALANÇ D'ENERGIA						Potència Plaques* (kW)				
Potència contractada (kW)		5,50				Factor d'ombres		0,93		
Consum anual (kWh)		4610,28				Rendiment Instal·lació		0,80		
Mitjana consum diari (kWh)		12,63				Potència Real Placa		0,95		

Figura 18: Balanç d'energia del programa de simulació pel Cas 1

Per a conèixer com funciona aquest programa de simulació, es farà un anàlisi detallat sobre cadascun dels passos a seguir per fer-lo servir.

1. Per començar, la primera taula serveix per definir el cas estudiat. La potència contractada equival als kW que es contracten a la tarifa amb la comercialitzadora. Pel que fa al consum anual i a la mitjana diària, el programa les calcula a partir de la columna de consum que haurem d'entrar posteriorment.

BALANÇ D'ENERGIA	
Potència contractada (kW)	5,50
Consum anual (kWh)	4610,28
Mitjana consum diari (kWh)	12,63

Figura 19: Programa de Simulació. Taula d'indicació del cas.

2. El segon pas és introduir les columnes de irradiància solar i de consum. La irradiància, com es comenta al punt 4, s'aconsegueixen a través del programa del PVGIS i el consum a través de l'empresa distribuïdora, en el nostre cas, *Endesa Distribución*.

Com es pot comprovar a la Figura 9, cada dia de l'any està dividit en 24 hores i està determinat el dia de la setmana. A partir d'aquestes dades, el programa defineix a quin període de discriminació horària pertany aquella hora segons la tarifa de 2 períodes i de 3 períodes.

						(Irrad. = Gb+Gd+Gr)	
Data	Hora	H	Weekday	DH 2 Períodes	DH 3 Períodes	Irradiància (kW/m2)	Consum (kWh)
01/01/2019	00:00	0	Tuesday	P2	P3	0,00	1,11
01/01/2019	01:00	1	Tuesday	P2	P3	0,00	0,84
01/01/2019	02:00	2	Tuesday	P2	P3	0,00	0,59
01/01/2019	03:00	3	Tuesday	P2	P3	0,00	0,48
01/01/2019	04:00	4	Tuesday	P2	P3	0,00	0,36
01/01/2019	05:00	5	Tuesday	P2	P3	0,00	0,39
01/01/2019	06:00	6	Tuesday	P2	P3	0,00	0,24
01/01/2019	07:00	7	Tuesday	P2	P3	0,01	0,25
01/01/2019	08:00	8	Tuesday	P2	P2	0,05	0,21
01/01/2019	09:00	9	Tuesday	P2	P2	0,20	0,19
01/01/2019	10:00	10	Tuesday	P2	P1	0,18	0,21
01/01/2019	11:00	11	Tuesday	P2	P1	0,18	0,18
01/01/2019	12:00	12	Tuesday	P1	P1	0,36	0,21

Figura 20: Programa de simulació. Taula de producció i consum.

3. Les darreres dades a introduir en aquesta part del programa de simulació són els factors que influeixen en les plaques, en concret els següents:
 - a. **Potència de plaques:** aquest factor, a diferència dels altres, serà diferent per a cada cas ja que el nombre de plaques (i conseqüentment la potència

que generen) varia segons el consum. Es farà variar la potència de les plaques en intervals de 0,2W per comprovar com l'energia generada i, conseqüentment, l'energia subministrada per la xarxa i l'energia excedent abocada fan la inversió més rendible. Així, el nombre de plaques influenciarà a l'anàlisi econòmic i ens servirà per estudiar com afecta al rendiment de la instal·lació.

- b. **Factor d'ombres:** les ombres que hi poden aparèixer impedeixen a la placa captar l'energia solar en la totalitat de la seva superfície. En aquest projecte s'ha considerat per a tots els casos que la influència de les ombres serà del 5%.
 - c. **Rendiment de la instal·lació:** existeixen factors externs que també redueixen el rendiment de la instal·lació fotovoltaica. Aquests poden ser, per exemple, la pols acumulada sobre les plaques ($\approx 6\%$), les altes temperatures ($\approx 6\%$), les pèrdues de conversió de DC a AC ($\approx 7\%$) i les pèrdues per cablejat ($\approx 2\%$). Per calcular, doncs, el factor del rendiment de la instal·lació és multipliquen aquests percentatges i com a resultat podem aproximar que el rendiment disminuirà en un 20%.
 - d. **Factor potència real placa:** per últim, pel que fa a la placa, existeix la possibilitat de que les característiques nominals no siguin acurades i que el rendiment del panell estigui per sota, tot dins d'una tolerància indicada pel fabricant. Així doncs, es considerarà que la potència real serà del 95% respecte a la seva potència nominal.
4. Amb totes aquestes dades podem observar com el programa de simulació mostra diferents resultats. Primerament, es pot veure com les columnes a la dreta del consum s'omplen.

	Energia Consumida		
Energia Generada (kWh)	Energia Plaques (kWh)	Energia Xarxa (kWh)	Energia Abocada (kWh)
0,00	0,00	1,11	0,00
0,00	0,00	0,84	0,00
0,00	0,00	0,59	0,00
0,00	0,00	0,48	0,00
0,00	0,00	0,36	0,00
0,00	0,00	0,39	0,00
0,00	0,00	0,24	0,00
0,02	0,02	0,23	0,00
0,09	0,09	0,12	0,00
0,36	0,19	0,00	0,17
0,31	0,21	0,00	0,11
0,32	0,18	0,00	0,14

Figura 21: Programa de simulació. Balanç d'energia.

La forma de calcular cadascuna és la següent:

- a. **Energia generada:** correspon a l'energia elèctrica generada per les plaques. Aquesta depèn dels paràmetres de la placa, de la irradiància incident i dels altres factors explicats anteriorment (factor d'ombres, rendiment de la instal·lació, etc).

$$E_{generada} = G \cdot E_f \cdot A \cdot FO \cdot \eta_{instal·lació} \cdot FP_{real}$$

$$(E_f = \frac{P_{plaques}}{G^* \cdot A})$$

$$E_{generada} = G \cdot \frac{P_{plaques}}{G^*} \cdot FO \cdot \eta_{instal·lació} \cdot FP_{real}$$

$$G = G_b + G_d + G_r$$

Equació 3: Càlcul de l'energia generada per les plaques

On:

$E_{generada}$: energia generada per les plaques [kWh]

G : irradiància total

G^* : irradiància en condicions estàndard (= 1 kWh/m²)

$P_{plaques}$: potència nominal total de les plaques [kW]

FO : factor d'ombres (= 0,93)

$\eta_{instal·lació}$: rendiment de la instal·lació (= 0,80)

FP_{real} : factor de potència real de la placa (= 0,95)

G_b : irradiància directa

G_d : irradiància difusa

G_r : irradiància reflectida

- b. **Energia consumida:** correspon a l'electricitat que es fa servir per al consum de l'habitatge. Pot provenir de les plaques o de la xarxa:

i. **Energia plaques ($E_{plaques}$)**

if Consum < $E_{generada}$:

$$E_{plaques} = \text{Consum}$$

else:

$$E_{plaques} = E_{generada}$$

Equació 4: Càlcul de l'energia generada per les plaques

ii. **Energia xarxa (E_{xarxa})**

if Consum > $E_{generada}$:

$$E_{xarxa} = \text{Consum} - E_{generada}$$

else:

$$E_{xarxa} = 0$$

Equació 5: Càlcul de l'energia subministrada per la xarxa

- c. **Energia abocada ($E_{abocada}$):** correspon a aquella energia generada per les plaques que no es consumeix, és a dir, que s'aboca a la xarxa com a excedents d'energia.

if Consum < $E_{generada}$:

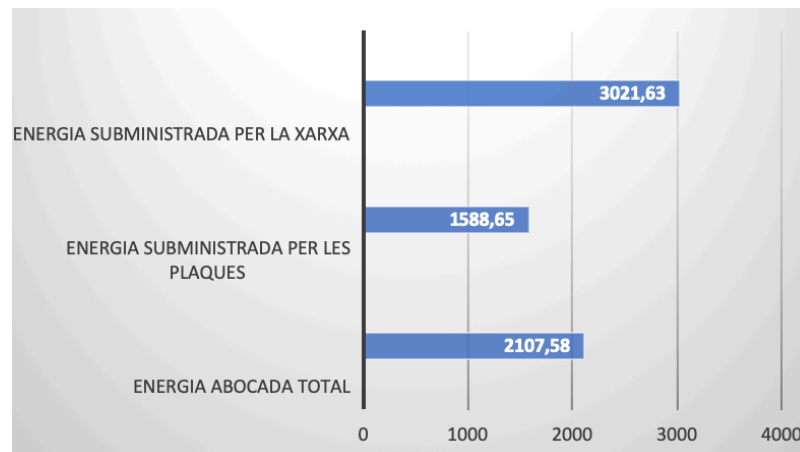
$$E_{plaques} = E_{generada} - Consum$$

else:

$$E_{abocada} = 0$$

Equació 6: Càlcul de l'energia excedent abocada

Amb aquestes columnes, d'una banda, el programa calcula el nombre absolut d'energia consumida produïda per les plaques, d'energia consumida subministrada per la xarxa i d'energia abocada fent la suma de les columnes corresponents. A més, s'expressa en percentatge la repartició d'energia consumida entre la generada per les plaques i la subministrada per la xarxa. Aquestes dades es representen a un gràfic de barres al costat de la taula on apareixen.

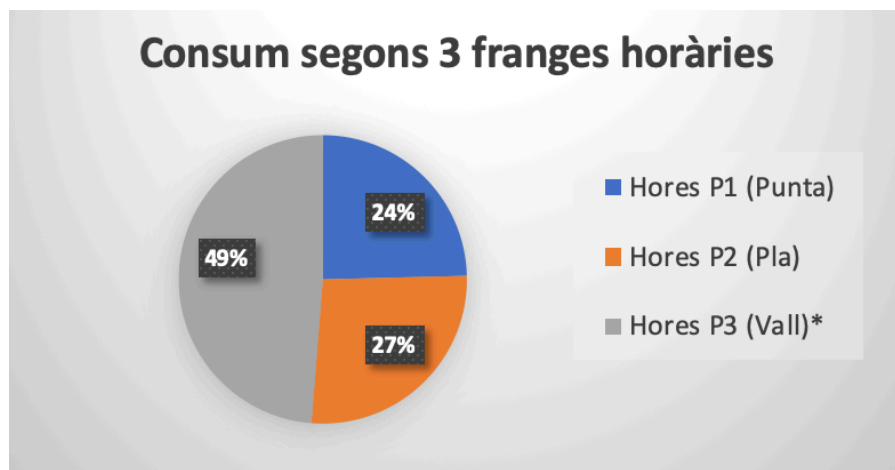


Gràfic 7: Programa de simulació. Gràfic d'energia consumida i abocada

D'altra banda, el programa mostra el consum d'energia tant de la xarxa com de les plaques per a les tres tarifes segons el període de discriminació horària on es produeix, amb el percentatge corresponent respecte al total.

Aquestes dades il·lustrades a tres taules diferents es representen gràficament en diagrames de sectors tot just al costat per a poder comparar en quins períodes de discriminació horària es fa més consum d'electricitat.

Per últim, també apareix un diagrama de caixes on es representa el consum segons l'hora del dia (tal i com als gràfics 2-6) i un altre igual però amb el consum segons el dia de la setmana (que també afecta a les tarifes).



Gràfic 8: Programa de simulació. Diagrama de sectors per a la tarifa de 3 DH

6.3.3. Anàlisi econòmic

Un cop són introduïts les dades del perfil de consum per simular el balanç d'electricitat durant un any sencer, el següent pas és fer l'estudi econòmic per comparar l'estalvi que produeix la instal·lació amb les despeses que comporta. Els valors finals que s'utilitzaran per a valorar la viabilitat de la instal·lació són els següents:

- **TIR:** La taxa interna de retorn és útil per veure la rendibilitat de la inversió. Tenint en compte la inversió inicial i l'estalvi que produeix anualment, expressa en forma de percentatge si el projecte és rendible o no en funció si és major o menor a un interès mínim acceptable (generalment al voltant del 10%).
- **Període de retorn:** per saber la rendibilitat d'una inversió també és important conèixer quants anys han de passar per que es recuperi el capital inicial invertit.
- **Guany:** per últim, també es farà la comparació de l'estalvi total que produiria la instal·lació al cap de 25 anys (ja que és la projecció del projecte).

La part del programa de l'Excel que calcula aquests valors requereix d'unes dades prèvies, el valor de les quals determinen el preu de l'estalvi i de la despesa inicial.

ANÀLISI ECONÒMIC					
P Plaques (kWp)	3,00	IVA	1,21	Preu Excedents / TE	0,42735
Nombre de plaques	7,69	Impost Electricitat	1,051126963	Terme de Potència	42,0432
Taxa Deteriorament	1,04	Taxa Manteniment	0,005	Taxa Reducció η	0,995

Figura 22: Programa de Simulació - Anàlisi Econòmic. Dades inicials.

Les dades que s'han d'introduir en aquesta taula són les següents:

1. **Potència de plaques (P_{plaques}):** aquesta cel·la està enllaçada amb la cel·la de *Potència de plaques* del balanç d'energia del programa de simulació. Exactament igual que aquesta altra cel·la, el seu valor variarà per fer la comparació amb diferents dimensionats.
2. **Nombre de plaques (N_{plaques}):** el valor del nombre de plaques es calcula automàticament, la fórmula per la qual es regeix tenint en compte les plaques escollides de 390 W pel projecte és la següent:

$$N_{\text{plaques}} = P_{\text{plaques}} \cdot \frac{1000}{320}$$

Equació 7: Càlcul del nombre de plaques

3. **Taxa de deteriorament:** per tenir en compte la degradació de les plaques amb el pas del temps per deteriorament, que comporta que els costos de manteniment augmentin, s'ha determinat una proporció del 6% anual.
4. **IVA:** l'impost sobre el valor afegit afecta també a l'energia a la factura elèctrica i el valor d'aquest es del 21% sobre el preu total.
5. **Impost sobre l'electricitat:** aquest impost, també present a la factura i comentat a l'apartat de *Factura Elèctrica*, té un valor del 5,1126963%.
6. **Taxa de manteniment:** aquesta taxa correspon al preu que comporta el manteniment de les plaques. Aquesta despesa és pràcticament nul·la, ja que les plaques es renten normalment amb la pluja. Tot i així, s'hi afegirà per comptar amb les possibles despeses per exemple les de neteja o les de substitució d'elements petits que es deteriorenen.[24] El valor que ha estat triat és del 0,5% anual sobre el cost dels materials.
7. **Preu Excedents / Terme d'Energia:** el preu dels excedents d'energia no s'ha considerat constant amb els anys, doncs tenint en compte que el preu de l'electricitat subministrada varia, és raonable pensar que el preu de la compensació d'excedents també ho farà. Per posteriors càlculs del preu dels kWh abocats que és descomptat a la factura, s'ha considerat que serà igual en proporció amb el preu de l'energia a l'any inicial: un 42,735% del preu del kWh amb la tarifa plana.
8. **Terme de potència:** és el preu per kW hora contractat amb la comercialitzadora que forma part de la part de costos fixos de la factura.
9. **Taxa de reducció η :** és necessari tenir en compte que la producció de les plaques no serà constant amb el pas dels anys. Aquesta caiguda del rendiment de les plaques degut al transcurs del temps és considerada al càlcul de l'estalvi i s'ha considerat del valor de 0,5% anual.

Posteriorment tenim el desglossament de les despeses. D'una banda, hi son els costos d'inversió que s'hi apliquen només en el moment inicial (en el nostre cas, ja que no considerem cap tipus de finançament). D'altra banda, hi son els costos de manteniment. Aquests costos augmenten amb el pas dels anys produint un efecte negatiu en l'estalvi.

Costos d'inversió		Costos de manteniment			
Plaques	1.576,92 €	Any	1	2	
Estructura	307,69 €	Preu	16,28 €	16,93 €	
Inversor	1.170,75 €				
Comptador	200,00 €				
Material i mà d'obra	1.808,08 €				
Verificació	300,00 €				
TOTAL	5.363,44 €				

Figura 23: Programa de simulació - Anàlisi Econòmic. Taules de despeses

6.3.3.1. Càlcul de les despeses

- **Costos d'inversió:**

1. **Plaques:** Pel que fa al cost de les plaques, aquest depèn del nombre de plaques a instal·lar i, conseqüentment, de la potència de les plaques. Les plaques escollides tenen un preu de 205€/placa, així doncs, el càlcul del preu és el següent:

$$C_{plaques} = 250 \cdot N_{plaques} = 250 \cdot P_{plaques} \cdot \frac{1000}{250}$$

Equació 8: Càlcul del cost total de les plaques fotovoltaïques

On:

$C_{plaques}$: cost de les plaques [€]

$N_{plaques}$: nombre de plaques

$P_{plaques}$: potència nominal de les plaques [kW]

2. **Estructura:** les plaques han de ser ancorades a la teulada de l'habitatge amb una estructura, el preu del qual depèn del nombre de plaques.

$$C_{estructura} = 40 \cdot N_{plaques} = 40 \cdot P_{plaques} \cdot \frac{1000}{250}$$

Equació 9: Càlcul del preu de l'estructura de les plaques

On:

$C_{estructura}$: cost de l'estructura [€]

$N_{plaques}$: nombre de plaques

$P_{plaques}$: potència nominal de les plaques [kW]

3. **Inversor:** el cost de l'inversor varia ja que aquest canvia en funció de la potència total de plaques instal·lades. Concretament, la potència de l'inversor hauria de ser al voltant del 95% de la potència de les plaques. Fent l'estudi de mercat i comparant els diferents preus s'ha arribat a la següent expressió:

$$C_{inversor} = 900 + 95 \cdot 0,95 \cdot P_{plaques}$$

Equació 10: Càlcul del cost de l'inversor

On:

$C_{inversor}$: cost de l'inversor [€]

$N_{plaques}$: nombre de plaques

$P_{plaques}$: potència nominal de les plaques [kW]

4. **Comptador:** el preu del comptador bidireccional d'obligada instal·lació serà considerat constant, doncs no depèn de la potència de les plaques. El cost determinat és de 200€.
5. **Material i mà d'obra:** aquest cost fa referència a la resta de material (cablejat, proteccions i d'altres materials elèctrics) i a la mà d'obra del personal d'instal·lació. S'ha tingut en compte que el procés de muntatge és de dificultat mitja, és a dir, que no caldran elements com grues que suposen un sobre cost. El preu varia segons el nombre de plaques a instal·lar a causa de el plus de material, tot i que el cost fix és elevat ja que es requereix de treballadors i d'equips d'instal·lació.

$$C_{material i mà d'obra} = 885 + 120 \cdot N_{plaques} = 885 + 120 \cdot P_{plaques} \cdot \frac{1000}{250}$$

Equació 11: Càlcul del cost del material i la mà d'obra

On:

$C_{material i mà d'obra}$: cost total del material i la mà d'obra [€]

$N_{plaques}$: nombre de plaques

$P_{plaques}$: potència nominal de les plaques [kW]

6. **Verificació:** la instal·lació requereix un registre i una legalització per part d'un organisme competent. El preu considerat de la visita i el butlletí és de 300€ per a qualsevol dimensionat.

- **Costos de manteniment:** per calcular les despeses que comporta la cura de les plaques i els possibles reemplaçaments de petit cost utilitzarem la taxa de deteriorament del 4% anual i la taxa de manteniment del 5% sobre el preu dels materials de gran cost.

$$C_{manteniment}^t = t_{manteniment} \cdot (t_{deteriorament})^{t-1} \cdot \sum_{i=1}^3 C_i$$

$$\sum_{i=1}^3 C_i = (C_{plaques} + C_{inversor} + C_{comptador})$$

Equació 12: Càlcul del cost de manteniment en funció de l'any

On:

$C_{manteniment}^t$: cost de manteniment a l'any t [€]

$t_{manteniment}$: taxa de manteniment (=0,005)

$t_{deteriorament}$: taxa de deteriorament

$C_{inversor}$: cost de l'inversor [€]

$C_{plaques}$: cost de les plaques [€]

$C_{estructura}$: cost de l'estructura [€]

6.3.3.2. Càlcul de l'estalvi econòmic anual

Tot seguit, al programa apareix la taula d'estalvi econòmic anual. L'estalvi energètic (o també anomenat guany) el definim com el cost de l'electricitat produïda per les plaques, segons els preus de la tarifa, que generen un descompte a la factura elèctrica. És a dir, és la diferència de preu anual que existeix entre el perfil de consum amb plaques i sense.

L'estalvi apareix calculat per a les tres tarifes diferents (tarifa plana, amb 2 discriminacions horàries i amb 3 discriminacions horàries), ja que el preu de l'electricitat varia en funció de la tarifa i aquesta variació serà crucial per a les comparacions. En aquest càlcul apareixen diferents valors com: el terme d'energia en €/kWh (pot arribar a haver-n'hi fins a 3 diferents, en el cas de la tarifa amb 3 DH), l'energia subministrada per les plaques (també diferenciada en períodes), l'energia abocada, la relació entre el preu dels excedents i el terme d'energia, l'impost sobre l'electricitat i l'IVA.

Estalvi Econòmic Anual (E consumida plaques i E abocada)				
Any	1	2	3	4
Tarifa Plana	434,66 €	449,79 €	465,44 €	481,64 €
2 Períodes DH	424,78 €	439,56 €	454,86 €	470,69 €
3 Períodes DH	383,34 €	396,69 €	410,49 €	424,77 €

Figura 24: Programa de simulació - Anàlisi Econòmic. Taula d'estalvi econòmic anual

Cal tenir en compte que, pel que fa a la compensació d'excedents, aquesta té un límit. El descompte aplicat a la factura en referència als kWh abocats serà màxim quan aquest arribi al mateix valor que el preu a pagar pels kWh consumits de la xarxa. És a dir, l'estalvi de l'energia abocada mai pot ser major al pagament dels costos variables de la factura (el terme d'energia). Les fórmules utilitzades per obtenir aquesta taula són les següents:

1. Estalvi per a la tarifa plana per a l'any t:

$$\epsilon_{abocada}^t = E_{abocada} \cdot (t_{\eta})^{t-1} \cdot Preu_{plana}^t \cdot t_{excedents}$$

$$\epsilon_{subministrada xarxa}^t = E_{xarxa plana} \cdot Preu_{plana}^t$$

$$\epsilon_{plaques}^t = E_{plaques} \cdot (t_{\eta})^{t-1} \cdot Preu_{plana}^t$$

$$\text{if } \epsilon_{abocada}^t > \epsilon_{subministrada xarxa}^t :$$

$$Est_{plana}^t = IVA \cdot I_{elect} \cdot (\epsilon_{plaques}^t + \epsilon_{subministrada xarxa}^t)$$

else:

$$Est_{plana}^t = IVA \cdot I_{elect} \cdot (\epsilon_{plaques}^t + \epsilon_{abocada}^t)$$

Equació 13: Càlcul de l'estalvi econòmic anual per a la tarifa plana

On:

Est_{plana}^t : estalvi total amb la tarifa plana a l'any t [€]

$\epsilon_{abocada}^t$: descompte generat per la compensació d'excedents a l'any t [€]

$\epsilon_{subministrada xarxa}^t$: despesa per l'energia consumida de la xarxa a l'any t [€]

$\epsilon_{plaques}^t$: descompte per la generació d'energia de les plaques a l'any t [€]

$E_{abocada}$: energia total abocada segons la simulació al Balanç d'Energia [kWh]

$E_{plaques}$: energia consumida de les plaques segons la simulació [kWh]

$E_{xarxa plana}$: energia consumida de la xarxa segons la simulació [kWh]

t_{η} : taxa de reducció de rendiment de les plaques (=0,005)

$Preu_{plana}^t$: preu del kWh per la tarifa plana a l'any t [€]

$t_{excedents}$: proporció entre el preu del kWh consumit/generat (=0,42735)

IVA: Impost sobre el valor afegit (=1,21)

I_{elect} : Impost sobre l'electricitat (=1,051126963)

2. Estalvi per a la tarifa amb 2 períodes de DH:

$$\epsilon_{abocada}^t = E_{abocada} \cdot (t_{\eta})^{t-1} \cdot Preu_{plana}^t \cdot t_{excedents}$$

$$\epsilon_{subministrada\ xarxa}^t = E_{xarxa\ P1} \cdot Preu_{P1}^t + E_{xarxa\ P2} \cdot Preu_{P2}^t$$

$$\epsilon_{plaques}^t = (t_{\eta})^{t-1} \cdot (E_{plaques\ P1} \cdot Preu_{P1}^t + E_{plaques\ P2} \cdot Preu_{P2}^t)$$

if $\epsilon_{abocada}^t > \epsilon_{subministrada\ xarxa}^t$:

$$Est_{2DH}^t = IVA \cdot I_{elect} \cdot (\epsilon_{plaques}^t + \epsilon_{subministrada\ xarxa}^t)$$

else:

$$Est_{2DH}^t = IVA \cdot I_{elect} \cdot (\epsilon_{plaques}^t + \epsilon_{abocada}^t)$$

Equació 14: Estalvi econòmic anual per a la tarifa amb 2 períodes de DH

On:

Est_{2DH}^t: estalvi total amb la tarifa amb 2 períodes de DH a l'any t [€]

Preu_{Pi}^t: preu del kWh per la tarifa amb 2DH i el període i a l'any t (i = 1,2) [€]

E_{xarxa Pi}: energia consumida de la xarxa al període i (i=1,2) [kWh]

E_{plaques Pi}: energia consumida de les plaques al període i (i=1,2) [kWh]

3. Estalvi per a la tarifa amb 3 períodes de DH:

$$\epsilon_{abocada}^t = E_{abocada} \cdot (t_{\eta})^{t-1} \cdot Preu_{plana}^t \cdot t_{excedents}$$

$$\epsilon_{subministrada\ xarxa}^t = E_{xarxa\ P1} \cdot Preu_{P1}^t + E_{xarxa\ P2} \cdot Preu_{P2}^t + E_{xarxa\ P3} \cdot Preu_{P3}^t$$

$$\epsilon_{plaques}^t = (t_{\eta})^{t-1} \cdot (E_{plaques\ P1} \cdot Preu_{P1}^t + E_{plaques\ P2} \cdot Preu_{P2}^t + E_{plaques\ P3} \cdot Preu_{P3}^t)$$

if $\epsilon_{abocada}^t > \epsilon_{subministrada\ xarxa}^t$:

$$Est_{3DH}^t = IVA \cdot I_{elect} \cdot (\epsilon_{plaques}^t + \epsilon_{subministrada\ xarxa}^t)$$

else:

$$Est_{3DH}^t = IVA \cdot I_{elect} \cdot (\epsilon_{plaques}^t + \epsilon_{abocada}^t)$$

Equació 15: Estalvi econòmic anual per a la tarifa amb 3 períodes de DH

On:

Est_{3DH}^t : estalvi total amb la tarifa amb 3 períodes de DH a l'any t [€]

$Preu_{Pi}^t$: preu del kWh per la tarifa amb 3DH, el període i a l'any t ($i = 1, 2, 3$) [€]

$E_{xarxa Pi}$: energia consumida de la xarxa al període i ($i=1,2,3$) [kWh]

$E_{plaques Pi}$: energia consumida de les plaques al període i ($i=1,2,3$) [kWh]

6.3.3.3. Fluxos de caixa

Un cop es disposa dels estalvis generats, el programa omple automàticament els fluxos de caixa on podem veure com evoluciona amb el pas dels anys la recuperació de la inversió inicial.

Sota de cadascun dels 3 fluxos de caixa (un per a cadascuna de les 3 tarifes) podem veure els 3 factors buscats per fer l'anàlisi de resultats: el TIR de la inversió, el període de retorn en anys i el guany total al cap de 15 anys en €.

FLUX DE CAIXA TARIFA PLANA					
Any	0	1	2	3	4
Estalvi		384,73 €	421,09 €	460,89 €	504,44 €
Cost Inversió	5.363,44 €				
Cost Manteniment		16,28 €	16,93 €	17,61 €	18,31 €
Flux net	- 5.363,44 €	368,46 €	404,16 €	443,28 €	486,13 €
Flux acumulat	- 5.363,44 €	- 4.994,98 €	- 4.590,82 €	- 4.147,54 €	- 3.661,41 €
TIR	13,8%	PERÍODE DE RETORN (ANYS)	9,5	GUANY 25 ANYS	34.844 €

Figura 25: Programa de Simulació - Anàlisi Econòmic. Fluxos de caixa

Per fer aquestes taules, el programa copia les files corresponents a l'estalvi econòmic anual, la cel·la del cost total d'inversió i el cost anual de manteniment. A partir d'aquests valors, es calcula el flux net i el flux net acumulat amb les següents fórmules:

$$Flux_{net}^t = Estalvi^t - Cost inversió^t - Cost manteniment^t$$

$$Flux_{acumulat}^t = Flux_{acumulat}^{t-1} + Flux_{net}^t$$

Equació 16: Flux net i acumulat per a l'any t per a qualsevol tarifa

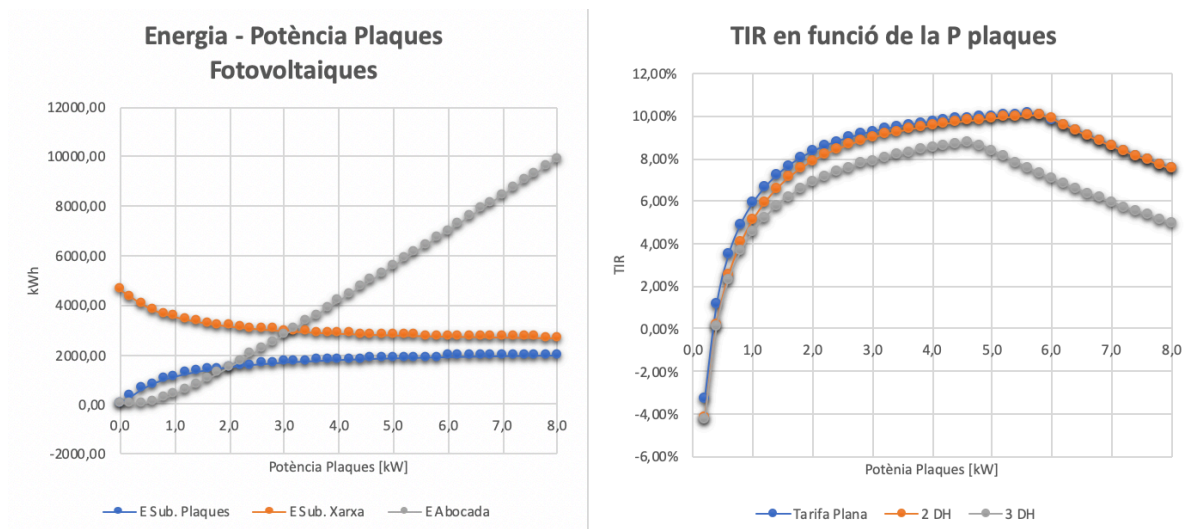
Per últim, mitjançant la taula el programa completa les cel·les verdes amb les fórmules específiques d'Excel que determinen el TIR i el període de retorn, i copia l'últim valor del flux acumulat a la cel·la del guany.

6.3.4. Comparació

Per tal d'analitzar de quina manera varien aquests tres factors en funció del dimensionat de les plaques, el tipus de tarifa i el preu de l'electricitat, es farà servir una funció d'Excel per mostrar gràficament diversos escenaris.

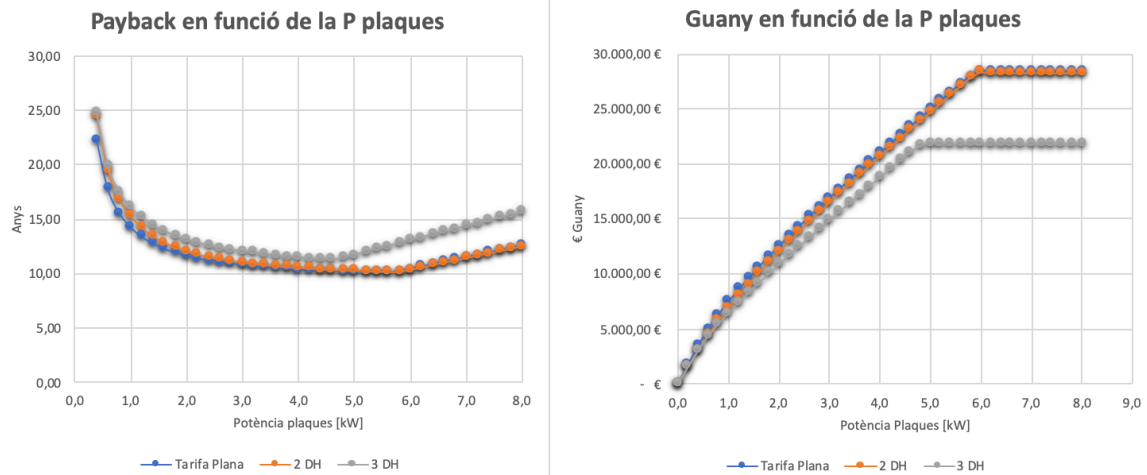
Aquesta funció s'anomena *Anàlisi d'Hipòtesis* i ens servirà per variar en intervals de 0,2 kW la potència de les plaques i així recollir en taules la variació dels tres factors a estudiar i poder representar-les gràficament. El límit de les iteracions variarà en funció del cas estudiat al voltant d'on apareixen els valors clau.

A més d'aquests tres factors (TIR, payback i guany), també es crearà una taula per mostrar quin és el balanç d'energia per a cada dimensionat i veure així la relació entre l'energia consumida de les plaques, la consumida de la xarxa i l'abocada en funció de la potència de les plaques, és a dir, del nombre de plaques fotovoltaïques de la instal·lació.



Gràfic 9 i Gràfic 10: Balanç d'energia i TIR en funció de la potència de les plaques

Al Gràfic 9 es pot veure com, a partir d'uns kW determinats (al voltant dels 2 kW en aquest cas), l'energia consumida provinent de les plaques o de la xarxa varia molt poc. L'energia abocada, al contrari, augmenta poc a poc fins al voltant d'aquest mateix punt on augmenta de manera lineal. Pel que fa al gràfic del TIR, també es pot veure com augmenta amb l'augment de la potència de les plaques fins a un punt (diferent per a cada tarifa, que serà analitzat a l'anàlisi de resultats) on comença a baixar.



Gràfic 11 i Gràfic 12: Payback i Guany en funció de la potència de les plaques

Si mirem el comportament del payback i el guany, tots dos mostren un punt d'inflexió. En el cas del payback, és decreixent fins a un dimensionat determinat que passa a ser creixent i, en el cas del guany, creix fins que passa a ser constant (mateix guany tot i augmentar la potència).

Aquests punts on es produeix el canvi de direcció dràstic representa el moment en què l'estalvi de l'energia abocada és màxim i, per tant, roman constant fent que alguns gràfics passin a tenir comportaments lineals (o fins i tot constants).

7. Anàlisi de resultats

Un cop conegut el funcionament del programa de simulació, començarem amb l'anàlisi de dades. Els factors clau seran el dimensionat, el TIR, el període de retorn (payback) i el guany econòmic al cap de 25 anys per a cadascun dels casos i per a cada tarifa, tot a través de les dades reflectides als gràfics de l'apartat anterior.

Els tres factors econòmics (TIR, payback i guany) varien segons el dimensionat de la instal·lació, però els valors de tots tres correspondran amb la mateixa potència de plaques: aquella que produeix el dimensionat òptim. Aquest valor de potència està representat al punt d'inflexió de cadascun dels tres gràfics, resultant en un màxim pel TIR, un mínim pel període de retorn i un màxim per al guany.

7.1. Taula de casos

Per a cadascun dels 5 consums (explicats a l'apartat 5.1) s'estudiaran 36 casos diferents, fent un total de 180 casos dels que es podran treure les conclusions. D'una banda, s'analitzaran les tres tarifes diferents (plana, amb 2 períodes de discriminació horària i amb 3 períodes de discriminació horària). Per a cada una d'elles, s'estudiaran 4 taxes de creixement del preu de l'electricitat diferent (0,95; 1; 1,05; 1,1) i, per a cadascuna d'aquestes taxes, s'utilitzaran 3 termes d'energia inicials diferents.

D'una banda, pel que fa a les taxes de creixement, se'n consideraran 4 diferents a causa de la incertesa del preu en el futur. D'aquestes 4, una d'elles serà negativa (del -5%) per comprovar com varien els resultats en el cas d'una davallada significativa del preu (com entre 2018 i 2019). Les altres tres, una d'elles serà la que considera un preu constant i les altres dos un creixement del 5% i del 10%.

D'altra banda, també s'hi han considerat termes d'energia inicial diferents, ja que a dia d'avui existeixen tarifes amb diferents preus segons la comercialitzadora i el contracte. El terme d'energia estàndard s'ha pres d'unes tarifes reals de 2.0A, 2.0 DHA i 2.0 DHS:

- **Tarifa Plana:** Tarifa One Llum d'Endesa [25], amb un terme d'energia (TE) constant de 0,119893 €/kWh.
- **Tarifa amb 2 DH:** Tarifa One Llum Nocturna d'Endesa [26] amb dos termes d'energia diferents: 0,158614 €/kWh pel període punta i 0,079420 €/kWh pel període vall.
- **Tarifa amb 3 DH:** Tarifa Tempo Verd Supervall d'Endesa [27] amb tres termes d'energia: 0,154701 €/kWh pel període punta, 0,088909 €/kWh pel període vall i 0,076377 €/kWh pel període supervall.

A partir d'aquests preus estàndards, s'analitzaran 3 variacions: l'equivalent al preu estàndard, un preu del 10% superior i un altre amb un 10% inferior. Així doncs, és possible representar els casos a estudiar per a un sol consum amb una taula:

Cas	Perfil Consum	Tarifa	Taxa Creixement	Terme d'energia
Cas 1	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 0,95	-10% TE estàndard
Cas 2	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 0,95	TE estàndard
Cas 3	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 0,95	+10% TE estàndard
Cas 4	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 1	-10% TE estàndard
Cas 5	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 1	TE estàndard
Cas 6	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 1	+10% TE estàndard
Cas 7	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 1,05	-10% TE estàndard
Cas 8	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 1,05	TE estàndard
Cas 9	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 1,05	+10% TE estàndard
Cas 10	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 1,1	-10% TE estàndard
Cas 11	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 1,1	TE estàndard
Cas 12	Consum A	Tarifa Plana	Taxa creixement 1,1	+10% TE estàndard
Cas 13	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 0,95	-10% TE estàndard
Cas 14	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 0,95	TE estàndard
Cas 15	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 0,95	+10% TE estàndard
Cas 16	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 1	-10% TE estàndard
Cas 17	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 1	TE estàndard
Cas 18	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 1	+10% TE estàndard
Cas 19	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 1,05	-10% TE estàndard

Cas 20	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 1,05	TE estàndard
Cas 21	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 1,05	+10% TE estàndard
Cas 22	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 1,1	-10% TE estàndard
Cas 23	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 1,1	TE estàndard
Cas 24	Consum A	Tarifa 2DH	Taxa creixement 1,1	+10% TE estàndard
Cas 25	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 0,95	-10% TE estàndard
Cas 26	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 0,95	TE estàndard
Cas 27	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 0,95	+10% TE estàndard
Cas 28	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 1	-10% TE estàndard
Cas 29	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 1	TE estàndard
Cas 30	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 1	+10% TE estàndard
Cas 31	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 1,05	-10% TE estàndard
Cas 32	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 1,05	TE estàndard
Cas 33	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 1,05	+10% TE estàndard
Cas 34	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 1,1	-10% TE estàndard
Cas 35	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 1,1	TE estàndard
Cas 36	Consum A	Tarifa 3DH	Taxa creixement 1,1	+10% TE estàndard

Taula 8: Taula de casos per al perfil de consum A

7.2. Resultats

A partir dels casos de la *Taula 8* (una taula per a cada perfil de consum), s'han pres per a cada cas els següents resultats: dimensionat òptim, percentatge d'autoconsum, TIR, període de retorn i guany (aquestes tres últimes per al dimensionat òptim).

7.2.1. Explicació dels resultats del perfil de consum A

Per començar, s'explicaran els resultats del perfil de consum del cas A, que correspon a l'habitatge amb menys valor de consum anual dels 5. Aquest perfil compta amb una potència contractada de 6,6 kW i un consum anual de 2723,86 kWh, repartits (en percentatge) entre els diferents períodes de discriminació horària de les tarifes triades de la següent manera:

	Tarifa Plana	Tarifa 2 DH	Tarifa 3 DH
Consum A			
2723,86 kWh	100 %	P1: 55,63 % P2: 44,35 %	P1: 28,53 % P2: 20,46 % P3: 51,01 %

Taula 9: Consum anual repartit en períodes segons la tarifa pel Consum A

Calculant els 36 casos explicats a l'apartat anterior i utilitzant la Taula 8, obtenim els resultats plasmats a continuació a la Taula 10.

Cas	Consum	Tarifa	Taxa Creix.	TE	P _{plaques} òptim	TIR	Payback (anys)	Guany
1	A	Plana	0,95	-10%	3,4	-2,5%	>25	5.290 €
2	A	Plana	0,95	est.	3,4	-1,3%	>25	5.878 €
3	A	Plana	0,95	+10%	3,4	-0,2%	>25	6.466 €
4	A	Plana	1	-10%	3,4	3,0%	16,9	9.099 €
5	A	Plana	1	est.	3,4	4,1%	15,0	10.110 €
6	A	Plana	1	+10%	3,4	5,2%	13,5	11.121 €
7	A	Plana	1,05	-10%	3,4	8,1%	12,3	17.276 €
8	A	Plana	1,05	est.	3,4	9,2%	11,3	19.196 €
9	A	Plana	1,05	+10%	3,4	10,2%	10,4	21.115 €
10	A	Plana	1,1	-10%	3,4	12,9%	10,1	35.437 €
11	A	Plana	1,1	est.	3,4	14,0%	9,4	39.374 €
12	A	Plana	1,1	+10%	3,4	15,0%	8,8	43.312 €

13	A	2DH	0,95	-10%	3,4	-2,7%	>25	5.179 €
14	A	2DH	0,95	est.	3,4	-1,6%	>25	5.754 €
15	A	2DH	0,95	+10%	3,4	-0,5%	>25	6.330 €
16	A	2DH	1	-10%	3,4	2,8%	17,4	8.883 €
17	A	2DH	1	est.	3,4	3,9%	15,4	9.870 €
18	A	2DH	1	+10%	3,4	4,9%	13,9	10.857 €
19	A	2DH	1,05	-10%	3,4	7,8%	12,5	16.824 €
20	A	2DH	1,05	est.	3,4	8,9%	11,5	18.693 €
21	A	2DH	1,05	+10%	3,4	9,9%	10,6	20.562 €
22	A	2DH	1,1	-10%	3,4	12,7%	10,3	34.434 €
23	A	2DH	1,1	est.	3,4	13,7%	9,5	38.261 €
24	A	2DH	1,1	+10%	3,4	14,8%	8,9	42.087 €
25	A	3DH	0,95	-10%	3	-3,4%	>25	4.521 €
26	A	3DH	0,95	est.	3	-2,2%	>25	5.024 €
27	A	3DH	0,95	+10%	3	-1,1%	>25	5.526 €
28	A	3DH	1	-10%	3	2,2%	18,7	7.776 €
29	A	3DH	1	est.	3	3,3%	16,5	8.640 €
30	A	3DH	1	+10%	3	4,3%	14,8	9.504 €
31	A	3DH	1,05	-10%	3	7,3%	13,1	14.764 €
32	A	3DH	1,05	est.	3	8,3%	12,1	16.405 €
33	A	3DH	1,05	+10%	3	9,3%	11,2	18.045 €
34	A	3DH	1,1	-10%	3	12,1%	10,7	30.284 €
35	A	3DH	1,1	est.	3	13,1%	10,0	33.649 €
36	A	3DH	1,1	+10%	3	14,1%	9,3	37.014 €

Taula 10: Resultats per als 36 casos del consum A

D'una banda podem comprovar a la taula com, per a totes tres tarifes, els valors del TIR i del guany augmenten amb l'augment de la taxa de creixement del preu de l'electricitat i amb l'augment del preu inicial, mentre que el període de retorn o payback disminueix. Això es tradueix com a que, com més car sigui el preu de l'electricitat, més rendible serà la instal·lació ja que recuperarem la inversió abans i el guany al cap de 25 anys serà superior.

En el cas del consum A, es pot veure com per a qualsevol dels tres termes d'energia inicials proposats amb una taxa de creixement del 0,95 la inversió no és rendible (TIR negatius i períodes de retorn de més de 25 anys). En canvi, per als casos amb taxa de creixement constant els valors són positius. És a dir, que si el preu de l'electricitat disminueix entre un 0 i un 5%, la instal·lació no proporcionarà bona rendibilitat pel perfil consum A amb cap de les tarifes.

D'altra banda, observant els valors de la potència de plaques òptima es pot comprovar com per la tarifa plana i la tarifa amb 2 períodes de discriminació horària el dimensionat òptim té el mateix valor de potència de 3,4 kW, mentre que per la tarifa amb 3DH la potència òptima de generació és de 3 kW (interessa instal·lar menys plaques que amb les altres dues tarifes).

A més, pel que fa al guany al cap de 25 anys, el valor màxim dels casos amb tarifa plana és de 43.312€, de la tarifa 2DH de 42.087€ i de la tarifa 3DH de 37.014€. Aquests valors, al igual que els del TIR, mostren com la tarifa plana treu més rendibilitat a les plaques, doncs presenta més guany, més TIR i menys payback. Seguida de prop, es troba la tarifa 2DH amb el mateix dimensionat òptim però amb valors dels resultats inferiors i finalment la tarifa 3DH, que mostra un TIR i un guany menor, a més d'un payback més alt. Tot i així, la inversió inicial per tenir un dimensionat òptim amb la tarifa 3DH és menor que la resta (fet que pot beneficiar en cas de voler fer una inversió inicial menor).

Per últim, també s'hi ha calculat els valors del percentatge d'autoconsum, presentats a la taula següent:

	Tarifa Plana	Tarifa 2 DH	Tarifa 3 DH
Consum A 2723,86 kWh	Dimensionat òptim 3,4 kW	Dimensionat òptim 3,4 kW	Dimensionat òptim 3 kW
	Autoconsum	Autoconsum	Autoconsum
	41,00%	41,00%	40,23%

Taula 11: Dimensionat òptim i el corresponent % d'autoconsum pel perfil de consum A

Amb els valors d'autoconsum succeeix igual que els altres factors i podem comprovar com amb el dimensionat òptim per la tarifa 3 DH, el tant per cent d'autoconsum és inferior a les altres dues tarifes (que presenten el mateix autoconsum ja que tenen el mateix dimensionat òptim).

7.2.2. Resultats de la resta de perfils de consum

Pel que fa a la resta de perfils de consum, s'han estudiat per separat de la mateixa manera que el perfil de consum A. Així doncs, per tal d'evitar repeticions o sobrecàrrega d'informació amb els 180 casos, es representaran els valors més importants per a cada perfil de consum en una taula per a poder analitzar les variacions.

De l'anàlisi del consum A es pot concloure que el TIR i el guany creixen amb el creixement del preu de l'electricitat (tant amb la taxa de creixement com amb el preu inicial), i el període de retorn disminueix. Així doncs, amb l'objectiu d'analitzar com varien els resultats entre els diferents tipus de tarifa segons el perfil de consum, podem agafar per exemple els valors màxims de TIR i Guany i el mínim del payback per a les tres tarifes sobre cada perfil, que correspondran als casos amb major terme d'energia inicial i major taxa de creixement.

A la taula següent es pot veure el desglossament d'aquest anàlisi. Per a veure les influències del consum sobre la viabilitat de cada tarifa, és imprescindible saber quin és, a més del consum total, el consum repartit pels períodes de cada tarifa.

	Tarifa	Consum per períodes	P _{plaques} òptim	TIR màxim	Payback mínim	Guany 25 anys
Perfil de Consum A (2724 kWh)	Plana	–	3,4	15,0 %	8,8 anys	43.312 €
	2 DH	P1: 55,63% P2: 44,37%	3,4	14,8 %	8,9 anys	42.087 €
	3DH	P1: 28,53% P2: 20,46% P3: 51,01%	3	14,1 %	9,3 anys	37.014 €
Perfil de Consum B (2908 kWh)	Plana	–	3,6	15,3 %	8,6 anys	46.282 €
	2 DH	P1: 63,39% P2: 33,61%	3,8	15,5 %	8,6 anys	47.901 €
	3 DH	P1: 37,41% P2: 21,95% P3: 40,64%	3,4	14,5 %	9,1 anys	41.272 €

Perfil de Consum C (3425 kWh)	Plana	–	4,2	16,1 %	8,2 anys	54.350 €
	2 DH	P1: 53,20% P2: 46,80%	4,2	15,7 %	8,5 anys	51.953 €
	3 DH	P1: 26,69% P2: 25,48% P3: 44,83%	3,8	15,3 %	8,6 anys	47.403 €
Perfil de Consum D (4634 kWh)	Plana	–	5,6	17,1%	7,7 anys	73.395 €
	2 DH	P1: 57,77% P2: 42,23%	5,8	17,1 %	7,8 anys	72.884 €
	3 DH	P1: 25,18% P2: 26,14% P3: 46,68%	5	16,1 %	8,2 anys	61.396 €
Perfil de Consum E (7403 kWh)	Plana	–	9,2	18,2 %	7,3 anys	118.550 €
	2 DH	P1: 52,87% P2: 47,13%	9,4	18,0 %	7,3 anys	114.566 €
	3 DH	P1: 25,88% P2: 22,97% P3: 51,15%	8	17,5 %	7,6 anys	100.130 €

Taula 12: Taula de resultats per a cada perfil de consum segons la tarifa (amb taxa de creixement 1,1 i +10% sobre el preu inicial estàndard)

Analitzant la taula podem comprovar, d'una banda, que la tarifa 3 DH és la menys avantatjosa per a la instal·lació fotovoltaica a tots els perfils de consums estudiats. Això es tradueix en que la tarifa 3 DH presenta preus de l'energia de la xarxa bastant més barats que les altres dues. Això pot ser a causa de la distinció en 3 períodes diferents (enlloc de en 2 o en 1) o a la inclusió de les 48 dels caps de setmana al període de discriminació horària més barat (el període vall).

En canvi, la tarifa plana i la tarifa 2 DH es tornen els millors resultats segons el perfil de consum. El perfil de consum B, per exemple, té un consum total similar al perfil de consum A però presenta millors resultats de TIR, payback i guany per a la tarifa 2 DH que per la plana (a diferència del perfil A).

Això és degut al repartiment del consum en períodes. Mentre que el perfil A consumeix un 55,63% del consum total en el P1 (període punta, el més car), el perfil B en consumeix un 66,39%. Aquesta diferència de consum en el període de discriminació horària amb preu més elevat comporta que, per al perfil B, una tarifa amb 2DH presenti millor viabilitat que amb una tarifa plana.

Així doncs, com a més pes tingui el consum al període punta, més viable serà la instal·lació amb una tarifa amb discriminació horària ja que l'estalvi serà superior. Si el percentatge d'ambdós períodes està equilibrat (al voltant de 45-55% tots dos), la tarifa que treu més rendibilitat de les plaques és la tarifa plana.

També es pot observar com el guany és molt superior per als perfils amb consum anual total més alt per a qualsevol tarifa però no el TIR. Això és degut a la inversió inicial, que augmenta amb el nombre de plaques òptimes i, conseqüentment, amb el consum de l'habitatge. Amb major nombre de plaques, més energia generada que produeix un estalvi més gran en guany, però també major inversió inicial, fet que fa que tant els TIR com els períodes de retorn no variïn molt entre els perfils.

Per últim, cal remarcar que la potència contractada en cada cas no ha acabat influint en cap càlcul. Aquesta forma part de la despesa fixa de la factura que no varia tot i passar-se a l'autoconsum. L'estalvi que proporcionen les plaques s'aplica a l'energia consumida i, per tant, a la part variable de la tarifa.

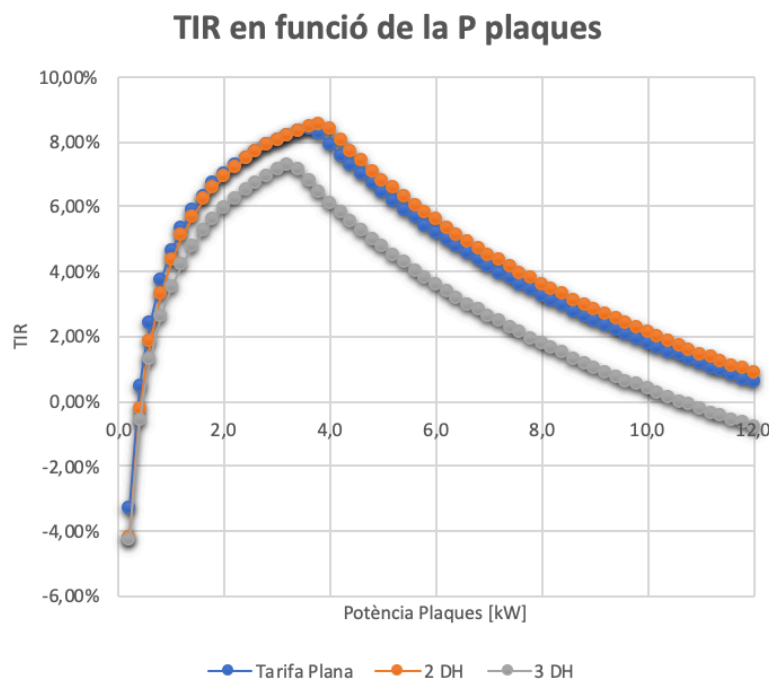
<i>Perfil de consum</i>	Tarifa que presenta MILLOR benefici	Tarifa que presenta PITJOR benefici
<i>Consum A</i>	Tarifa Plana	Tarifa 3 DH
<i>Consum B</i>	Tarifa 2 DH	Tarifa 3 DH
<i>Consum C</i>	Tarifa Plana	Tarifa 3 DH
<i>Consum D</i>	Tarifa Plana	Tarifa 3 DH
<i>Consum E</i>	Tarifa Plana	Tarifa 3 DH

Taula 13: Resultats de millor benefici de la instal·lació segons la tarifa elèctrica

7.2.3. Influència del preu en el TIR i en el VAN

Si estudiem en més profunditat la taxa interna de retorn, aquesta interessa que sigui el més gran possible, ja que un TIR major és sinònim de major rendibilitat de la inversió. L'anàlisi anterior ha estat fet amb el seu valor màxim, que correspon a aquell que proporciona un dimensionat òptim per a cada perfil i per a cada tarifa. Tot i així, és interessant estudiar com varia aquest valor màxim per a conèixer el punt límit del preu de l'electricitat on les instal·lacions deixen de ser rendibles segons la tarifa triada.

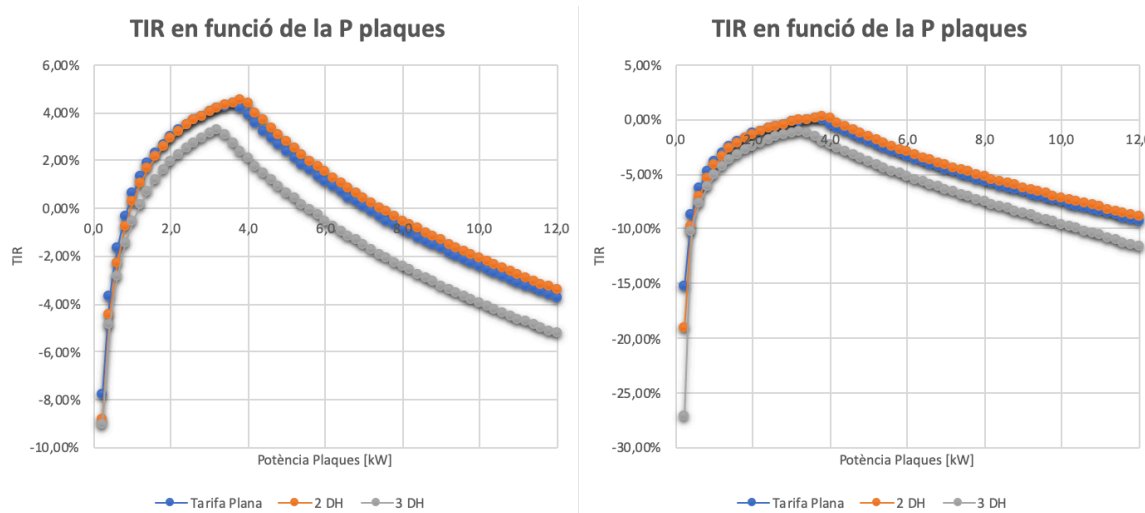
El gràfic que ens mostra com varia aquesta taxa en funció del nombre de plaques mostra un aspecte similar per a tots els casos, amb un creixement fins a un punt d'inflexió i un posterior decreixement.



Gràfic 13: TIR del consum B en funció del nombre de plaques amb 1,04 de taxa (Cas B)

Al Gràfic 13, calculat amb una taxa de creixement del 1,04, es pot comprovar com, entre els 3 i 4 kW de potència de plaques, trobem el punt òptim per a cadascuna de les tarifes.

Si fem variar aquesta taxa de creixement del preu de l'electricitat, ens adonem que el TIR màxim varia, però el valor de potència de plaques òptim (és a dir, el dimensionat òptim) es manté constant.



Gràfic 14 i 15: TIR del perfil de consum B en funció de la potència de les plaques amb taxes de 1 i 0,96

La TIR es compara generalment amb el valor de l'interés mínim acceptable o taxa de descompte "i" que s'utilitza pel càlcul del VAN. Aquest valor representa el cost d'oportunitat de manera que si la $TIR > i$ el projecte s'acceptaria i, del contrari, es rebutjaria. Aquest interés mínim varia segons el risc del projecte i generalment sol ser d'un 10%. Tot i així, en el cas de l'estudi, les instal·lacions fotovoltaïques són inversions de risc molt baix, ja que amb uns bons càlculs previs la rendibilitat del projecte no hauria de veure's afectada en el futur de manera inesperada.

Per això, aquest projecte s'ha considerat utilitzar un interés mínim acceptable del 5% (l'interés mínim del mercat), donant per vàlids els valors del TIR superiors a aquest 5% i que resulten en un VAN positiu al cap de 25 anys.

Així doncs, per a cadascun dels consums i per a cada tarifa amb la seva potència de plaques òptima (considerant només el preu inicial estàndard) es recollirà el valor de la taxa de creixement que fa que el projecte d'instal·lació sigui rendible, és a dir, que el TIR sigui major al 5%.

	Dades	Tarifa	Taxa de creixement per TIR > 5%
Perfil de consum A	6,6 kW 2724 kWh/any	Plana ($P_{\text{plaques}} = 3,4 \text{ kW}$)	> 1,01
		2 DH ($P_{\text{plaques}} = 3,4 \text{ kW}$)	> 1,01
		3 DH ($P_{\text{plaques}} = 3 \text{ kW}$)	> 1,02
Perfil de consum B	3,45 kW 2908 kWh/any	Plana ($P_{\text{plaques}} = 3,6 \text{ kW}$)	> 1,01
		2 DH ($P_{\text{plaques}} = 3,8 \text{ kW}$)	> 1,00
		3 DH ($P_{\text{plaques}} = 3,4 \text{ kW}$)	> 1,01

<i>Perfil de consum C</i>	9,2 kW 3425 kWh/any	Plana ($P_{\text{plaques}} = 4,2 \text{ kW}$)	> 1,00
		2 DH ($P_{\text{plaques}} = 4,2 \text{ kW}$)	> 1,00
		3 DH ($P_{\text{plaques}} = 3,8 \text{ kW}$)	> 1,01
<i>Perfil de consum D</i>	5,5 kW 4634 kWh/any	Plana ($P_{\text{plaques}} = 5,6 \text{ kW}$)	> 0,99
		2 DH ($P_{\text{plaques}} = 5,8 \text{ kW}$)	> 0,99
		3 DH ($P_{\text{plaques}} = 5 \text{ kW}$)	> 1,00
<i>Perfil de consum E</i>	3,3 kW 7403 kWh/any	Plana ($P_{\text{plaques}} = 9,2 \text{ kW}$)	> 0,98
		2 DH ($P_{\text{plaques}} = 9,4 \text{ kW}$)	> 0,98
		3 DH ($P_{\text{plaques}} = 8 \text{ kW}$)	> 0,99

Taula 14: Taxa de creixement mínima del preu de l'energia mínima per a TIR > 5%

Amb aquests resultats es pot comprovar com totes les hipotètiques instal·lacions tenen una rendibilitat positiva sempre i quan la tendència del preu de l'electricitat sigui ascendent, com a mínim, en un 2% anual. En el millor dels casos (dues de les tres tarifes del perfil de consum E) fins i tot seguiria sent rendible amb una davallada del preu en un 2%.

Aquestes dades són interessants ja que mostren com al cap de 25 anys les instal·lacions fotovoltaïques resultarien en inversions rendibles si el preu de l'electricitat continua sent ascendent, amb valors esperables com és un 1 o un 2% anual.

7.3. Impacte mediambiental

Les instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum són fonts d'energia renovable, per tant, el seu ús no genera gasos d'efecte hivernacle ni residus contaminants per al medi ambient. A més, disminueix la dependència d'energia de la xarxa elèctrica que pot provenir de fonts no renovables i contaminants com les fonts de combustibles fòssils.

La seva utilització és totalment neta i l'impacte mediambiental es veu afectat en la construcció i col·locació dels components. En el cas d'instal·lacions fotovoltaïques de grans magnituds existeixen factors com el tractament del sòl, la contaminació visual i la afectació de mobilitat de la fauna que no comporta una instal·lació d'autoconsum com la que estudiem, ja que aquesta s'instal·la al terrat del propi domicili.

Els mòduls fotovoltaïcs estan fabricats en gran proporció amb silici, que és molt abundant a la natura i es pot obtenir de la sorra sense quantitats significatives, però el procés de fabricació de les plaques pot comportar etapes contaminants per part de la empresa constructora: des de l'ús d'energia no renovable pel funcionament de les màquines que munten la placa fins a l'ús de substàncies com àcid clorhídric per depurar la superfície.

Pel que fa a alguns altres factors típics, veiem com no es veuen afectats: el soroll, les instal·lacions d'avui dia són completament silencioses; l'aigua superficial i subterrània, no es produeix cap tipus d'abocament de residus ni tractament d'aigües; i el clima, no es veu afectat ja que no es produeix cap tipus de combustió ni d'emissions de CO₂.

Tot i així, la petjada que comporta el procés de fabricació es veu compensada molt positivament pels avantatges dels quals el més important és la no utilització d'energies que emeten gasos d'efecte hivernacle. De fet, aquest tipus de projecte està en consonància amb polítiques ecologistes europees i estatals que busquen lluitar contra el canvi climàtic i evitar catàstrofes naturals futures, com per exemple l'*Estratègia d'adaptació al canvi climàtic* de la Unió Europea [28].

Per calcular numèricament quin és l'impacte ambiental positiu cal estimar quins serien els kilograms de diòxid de carboni emesos a l'atmosfera que s'estalviarien. Segons la *Comisión Nacional de los Mercados y las Competencias*, d'entre totes les comercialitzadores d'energia, la mitjana nacional de emissions de CO₂ al 2019 és de 0,20 kg CO₂/kWh [29]. Donada aquesta dada i coneixent els valors de kWh generats per les plaques segons la simulació podem fer el càlcul dels kilograms de diòxid de carboni evitats.

$$kg \text{ de } CO_2 \text{ estalviats a l'any} = kWh \text{ generats a l'any} * 0,20 \frac{kg \text{ } CO_2}{kWh}$$

Equació 17: Càlcul dels kilograms de CO₂ evitats anualment

Així doncs, si es realitza el càlcul per a cadascun dels perfils de consum amb el seu determinat dimensionat òptim es poden recollir les dades de contaminació evitada.

	kWh generats anualment	Kg CO ₂ estalviats anuals
<i>Perfil de Consum A</i>	1117 kWh	223,4 kg CO ₂
<i>Perfil de Consum B</i>	1174 kWh	234,8 kg CO ₂
<i>Perfil de Consum C</i>	1450 kWh	290,0 kg CO ₂
<i>Perfil de Consum D</i>	1884 kWh	377,0 kg CO ₂
<i>Perfil de Consum E</i>	2660 kWh	532,0 kg CO ₂

Taula 15: kg de diòxid de carboni estalviats amb el dimensionat òptim

7.4. Cost de l'estudi

Per a portar a terme aquest projecte, s'hi ha dedicat un grapat d'hores per part de l'autor de l'estudi, juntament amb un material, que tot plegat suposa uns costos. Aquests costos estan detallats a la *Taula 16*.

COST DE L'ESTUDI			
	Temps	Preu	Preu total
Personal			
Enginyer	360 h	20 €/h	7.200 €
Serveis			
Electricitat	360 h	0,0694 €/h	25 €
Internet	6 mesos	30,95 €/mes	185,70 €
Ordinador	–	1.999 €	1.999 €
Llicència Microsoft Office	–	90 €	90 €
TOTAL sense IVA			9.499,70 €
TOTAL amb IVA			11.494.64 €

Taula 16: Cost de l'estudi

7.5. Cronograma

La Figura 26 correspon al cronograma que desglossa les diferents fases de l'estudi en les 28 setmanes que han estat dedicades.

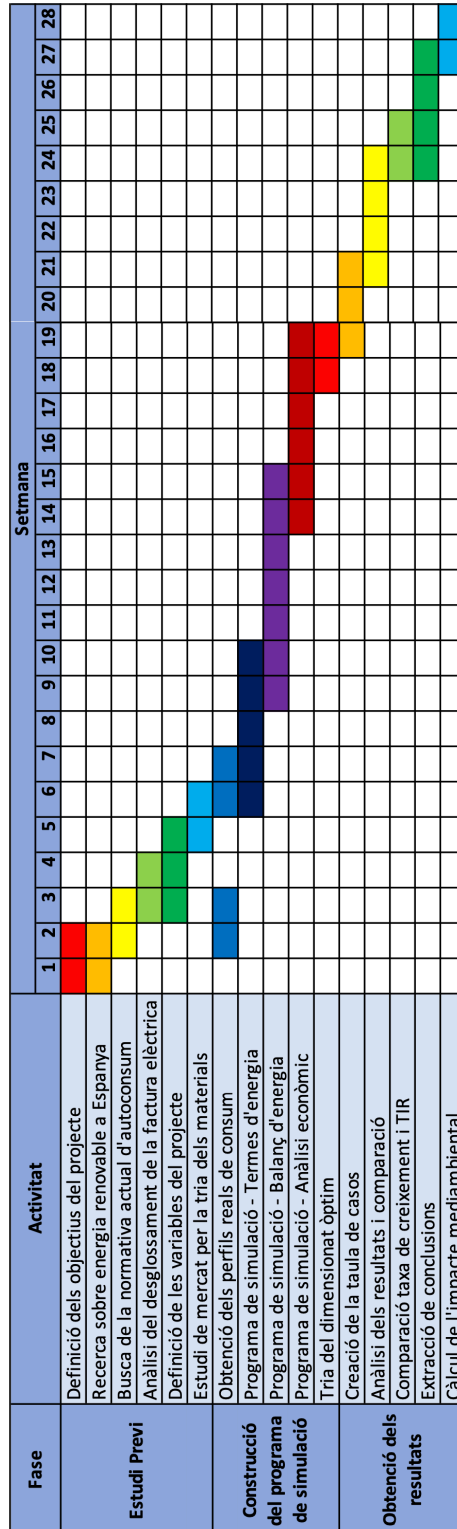


Figura 26: Cronograma de l'estudi

8. Conclusions

Un cop fet l'anàlisi dels resultats de les diferents simulacions, podem arribar a diferents conclusions de com afecta la tarifa en la viabilitat d'una instal·lació fotovoltaica:

- Amb el dimensionat òptim per a un perfil de consum determinat, el projecte d'instal·lació de plaques fotovoltaïques serà rendible per a tarifes amb i sense discriminació horària si el preu de l'electricitat actual s'estabilitza o s'incrementa. En el cas que el preu de l'electricitat disminueixi, aquells perfils amb menys kWh consumits anualment podrien deixar de ser rendible.
- L'augment del preu de l'energia afavoreix en la viabilitat de les plaques, ja que l'estalvi proporcionat per l'energia creada de forma autàrquica s'incrementa i comporta més guany econòmic.
- La tarifa plana presenta un cost de l'electricitat major en la majoria de perfils de consum que les tarifes amb discriminació horària. Això provoca que la instal·lació de plaques fotovoltaïques sigui molt més rendible amb aquesta tarifa, ja que els guanys per l'estalvi són majors (excepte en els casos on el consum es troba molt concentrat en les hores punta).
- El dimensionat òptim i la tarifa elèctrica estan relacionats de manera que, quan més gran sigui l'estalvi segons el preu de la tarifa, més inversió inicial es podrà assumir sense perdre rendibilitat.
- La nova tarifa 2.0 TD, que es equivalent a la tarifa estudiada amb 3 períodes de discriminació horària, no seria la més adequada per a treure la major rendibilitat d'una instal·lació fotovoltaica, ja que la varietat de preus en els diferents moments del dia i l'abaratiment els caps de setmana fan que les plaques no generin tant d'estalvi com amb una altra tarifa.

Aquestes són les conclusions a les que s'ha aconseguit arribar a partir dels perfils de consums i dels casos estudiats al projecte. Cal remarcar, també, que els perfils de consum escollits han estat 5 perfils reals de cases unifamiliars de Barcelona que diferien en la quantitat d'energia que es consumeix anualment (des de 2724 kWh al cas A fins a 7404 kWh al cas E).

En el cas d'haver triat perfils en funció de les hores on es consumeix l'energia, hauríem vist altres variacions com en el cas dels perfils A i B. Tot i que aquests 5 perfils són reals i podríem considerar que no tenen horaris de consum extraordinaris, amb altres perfils més extrems els resultats segurament variarien però s'allunyarien més de la realitat del consum ordinari.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] “España cierra 2019 con un 10 % más de potencia instalada de generación renovable | Red Eléctrica de España.” <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/notas-de-prensa/2019/12/espana-cierra-2019-con-un-10-mas-de-potencia-instalada-de-generacion-renovable> (Consultada: 02/02/2020).
- [2] “Auto Consumo al Detalle – ENERAGEN.” <http://www.autoconsumoaldetalle.es/> (Consultada: 02/02/2020).
- [3] E. y T. Ministerio de Industria, “Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo,” pp. 1–31, 2015. (Consultada: 10/02/2020)
- [4] J. del Estado, “Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.,” *Boletín Of. Del Estado*, p. 97430, 2018, [Online]. Available: <http://www.boe.es>. (Consultada: 10/02/2020)
- [5] M. para la transición Ecológica, “Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica,” *Actual. Jurídica Ambient.*, no. 90, pp. 35674–35719, 2019. (Consultada: 12/02/2020)
- [6] C. A. de Catalunya, “Decreto-ley 16/2019, de 26 de noviembre, de medidas urgentes para la emergencia climática y el impulso a las energías renovables,” *Boletín Oficial del Estado*, no. 51, 28 de febrero. pp. 18987–19106, 2019, [Online]. Available: <https://www.boe.es/eli/es-vc/l/2019/02/05/1>. (Consultada: 16/02/2020)
- [7] D. d’economia i Finances, “Decret 147/2009, de 22 de setembre, pel qual es regulen els precediments administratius aplicables per a la implantació de parcs eòlics i instal·lacions fotovoltaïques a Catalunya,” *D. Of. la General. Catalunya*, pp. 71915–71938, 2009. (Consultada: 20/02/2020)
- [8] “Ajuts i Subvencions. Convocatòria 2019 | Energia Barcelona | Ajuntament de Barcelona.” <https://energia.barcelona/ca/ajuts-i-subvencions-convocatoria> (Accedit: June 19, 2020). (Consultada: 20/02/2020)
- [9] J. del Estado, “Real Decreto-ley 1/2019, de 11 de enero, de medidas urgentes para adecuar las competencias de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia a las exigencias derivadas del derecho comunitario en relación a las Directivas 2009/72/CE y 2009/73/CE del,” *Boletín Oficial del Estado*, no. 51, 28 de febrero. pp. 18987–19106, 2019, [Online]. Available: <https://www.boe.es/eli/es-vc/l/2019/02/05/1>. (Consultada: 24/02/2020)
- [10] T. U. R. G. a S. Natural, “TUR (TARIFA DE ÚLTIMO RECURSO) Evolución de las Tarifas de Último Recurso T1 y T2 de gas Natural .,” pp. 1–16, 2012.

- [11] “Eurostat - Data Explorer.” https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_204&lang=en (Consultada: 01/03/2020).
- [12] “Radiación, Irradiancia, Azimut y Hora sol Pico en Fotovoltaica.” <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/> (Consultada: 10/03/2020).
- [13] “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html (Consultada: 12/03/2020).
- [14] “Qué es Autoconsumo solar | Funcionamiento y Consejos | Tecnosol.” <https://tecnosolab.com/noticias/autoconsumo-funcionamiento-consejos/> (Consultada: 10/03/2020).
- [15] “Tipos de Placas Solares | Según Tecnología y Aplicaciones.” <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/> (Consultada: 18/03/2020).
- [16] “Célula de Silicio Amorfo.” <http://materialfotovoltaico.com.mx/tecnologias/célula-de-silicio-amorfo.html> (Consultada: 20/03/2020).
- [17] “Características eléctricas de los paneles solares | Venta online placas | Tecnosol.” <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/> (Consultada: 20/03/2020).
- [18] “Panel Solar Monocristalino Atersa A-390M GS - Atersa.shop.” <https://atersa.shop/panel-solar-a390m-gs-390wp-monocristalino/> (Consultada: 03/04/2020).
- [19] “Estructura Soporte Placas Solares para Cubierta de Teja con Salvatejas 02V | TeknoSolar.com.” <https://www.teknosolar.com/estructura-soporte-placas-solares-para-cubierta-de-teja/> (Consultada: 03/04/2020).
- [20] “Inversor Huawei SUN2000-10KTL-M0.” <https://atersa.shop/inversor-huawei-sun2000-10kti-m0/> (Consultada: 05/04/2020).
- [21] “Inversor Huawei SUN2000L-3.6KTL.” <https://atersa.shop/inversor-huawei-sun2000l-3-6kti/> (Consultada: 05/04/2020).
- [22] “Inversor Huawei SUN2000L-5KTL.” <https://atersa.shop/inversor-huawei-sun2000l-5kti/> (Consultada: 05/04/2020).
- [23] “Analizador-Contador Bidireccional Monofásico Directo 100A - efectoLED.” https://www.efectoled.com/es/comprar-medidores-de-energia/43747-analizador-contador-bidireccional-monofasico-directo-100a.html?gclid=CjwKCAjwxLH3BRAPeiwAqX9araaDpEIXuA07B95BSmeYMdnITWKm1__9AuXzoEk5LgjZDeNBMA7TBhoCsXAQAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds (Consultada: 10/04/2020).
- [24] “Mantenimiento de Instalaciones Fotovoltaicas ¿Cómo y cuánto? - Elívere.” <https://elivere.com/blog/mantenimiento-instalaciones-fotovoltaicas-como-cuanto/> (Consultada: 20/04/2020)

- [25] “Tarifa One Llum | Endesa.” <https://www.endesa.com/ca/catalog/llum/one/tarifa-one-llum> (Consultada: 21/04/2020).
- [26] “Tarifa One Llum Nocturna | Endesa.” <https://www.endesa.com/ca/catalog/llum/one/tarifa-nocturna-ca> (Consultada: 21/04/2020).
- [27] “Tarifa Tempo Verd Supervall | Endesa.” <https://www.endesa.com/ca/catalog/llum/tempo/tempo-verde-supervalle-ca> (Consultada: 21/04/2020).
- [28] “Adaptación al cambio climático — Agencia Europea de Medio Ambiente.” <https://www.eea.europa.eu/es/themes/climate-change-adaptation/intro> (Consultada: 19/06/2020).
- [29] “CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia - Presentación.” <https://gdo.cnmc.es/CNE/resumenGdo.do?anio=2019> (Consultada: 19/06/2020).

Bibliografia complementària

- “España 2020, el país con 110.000 megavatios de potencia eléctrica y un máximo de demanda de 40.000” <https://www.energias-renovables.com/panorama/espana-2020-el-pais-con-110-000-20200124> (Consultada: 02/02/2020)
- “Características eléctricas de los paneles solares” <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/> (Consultada: 20/03/2020)
- “Usos, aplicaciones y tipos de Placas Solares” <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/> (Consultada: 20/03/2020)
- “Comparador de tarifas eléctricas 2020: mejores ofertas y precios” <https://comparadorluz.com/tarifas/luz> (Consultada: 20/04/2020)